

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

COMME EXIGENCE PARTIELLE
À L'OBTENTION DE LA
MAÎTRISE EN GÉNIE DE LA CONSTRUCTION
M.Ing.

PAR
CHARLES POUPART

GUIDE D'AUSCULTATION DES BÂTIMENTS INCENDIÉS À L'USAGE DU
TÉMOIN EXPERT – ÉLABORATION D'UNE MÉTHODE ADAPTÉE

MONTREAL, LE 26 AOÛT 2003

© droits réservés de Charles Poupart

CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ
PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

M. Dominique Bernard Bauer, professeur et directeur de mémoire
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

Mme Michèle St-Jacques, professeure et présidente du jury
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Amar Khaled, professeur
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC

LE 15 AOÛT 2003

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

GUIDE D'AUSCULTATION DES BÂTIMENTS INCENDIÉS À L'USAGE DU TÉMOIN EXPERT – ÉLABORATION D'UNE MÉTHODE ADAPTÉE

Charles Poupart

Résumé

La contribution de la présente étude est l'élaboration d'une méthode en quatre étapes, pour l'auscultation de bâtiments incendiés. Le but de cette auscultation est de déterminer l'effet de l'incendie puis d'établir les dommages causés et leur étendue. Dans un contexte légal et d'assurance, ces informations permettront un règlement équitable des pertes matérielles attribuables au feu. La méthode est basée sur une revue de la littérature et sur l'expérience de l'auteur, acquise suite à des centaines d'examins de bâtiments incendiés. Le texte est complémenté d'études de cas et de photographies prises dans des situations réelles. Cette méthode mènera à la réalisation d'un guide d'auscultation de bâtiments incendiés utilisé par les témoins experts.

GUIDE D'AUSCULTATION DES BÂTIMENTS INCENDIÉS À L'USAGE DU TÉMOIN EXPERT – ÉLABORATION D'UNE MÉTHODE ADAPTÉE

Charles Poupart

SOMMAIRE

Le présent mémoire de maîtrise donne une méthode adaptée à l'auscultation de bâtiments incendiés pour en établir l'état. Elle comporte quatre principales étapes :

- a. obtenir le plus d'informations possible sur le bâtiment incendié ;
- b. ausculter le bâtiment pour caractériser l'incendie ;
- c. comparer les observations du témoin expert sur le comportement et le type de dégradation des principaux matériaux de construction exposés à la chaleur ;
- d. analyser et tirer les conclusions résultant de l'auscultation.

Cette méthode mènera à la réalisation d'un guide d'auscultation de bâtiments incendiés utilisé par les témoins experts.

Le but de l'auscultation de bâtiments incendiés est de déterminer l'effet de l'incendie puis d'établir les dommages causés et leur étendue. Dans un contexte légal et d'assurance, ces informations permettront un règlement équitable des pertes matérielles attribuables au feu.

Pour illustrer la méthode proposée, trois études de cas sont présentées :

- a. une charpente d'acier ;
- b. une charpente de bois ;
- c. une charpente de matériaux incombustibles attaquée par un feu provenant de l'extérieur.

La structure d'acier était très déformée et les photographies incluses le montrent clairement. La carbonisation profonde sur les éléments structuraux importants du bâtiment en bois a établi qu'il était beaucoup plus endommagé qu'estimé dans un premier temps. Le feu à l'extérieur du bâtiment de construction incombustible ne l'a pratiquement pas affecté. La présence de sondes de température a facilité la caractérisation de cet incendie.

La contribution de la présente étude est l'élaboration d'une méthode d'auscultation de bâtiments incendiés. Elle est basée sur une revue de la littérature et sur l'expérience de l'auteur acquise durant quatre ans par des centaines d'examen de bâtiments incendiés. Le texte est complété de photographies prises dans des situations réelles.

AUSCULTATION OF FIRE DAMAGED BUILDINGS GUIDE FOR THE EXPERT WITNESS – ELABORATION OF AN ADAPTED METHOD

Charles Poupart

ABSTRACT

This masters thesis introduces an adapted method for the auscultation of fire-damaged building in order to establish the state of damage of the building. There are four steps to that method:

- a. gathering of all possible information on the fire damaged building;
- b. examining the building in order to characterize the fire;
- c. comparing the observations obtained in the building regarding the behavior and type of degradation of construction materials exposed to the heat;
- d. analyzing the results of the auscultation and concluding on the fire damaged building.

These steps allow us to determine the effects of the fire on the building and related damages.

Three case studies of fire-damaged buildings are presented to illustrate the proposed method:

- a. one made of steel;
- b. one made of wood;
- c. one made with incombustible materials, which was attacked by an exterior fire.

The steel structure was heavily damaged and this is clearly shown by the pictures included. The deep carbonization of the parts in the wood structure was severe and the damage was much bigger than first estimated by preliminary observations. The fire outside the incombustible building did not affect it and the presence of temperature monitors located near the fire facilitated the characterization of the fire.

The aim of the present study is to elaborate a method of auscultation for fire damaged buildings. It is documented with publications and a four-year personal experience of the author through hundreds of examinations of fire damaged buildings. Many pictures taken on actual fire scene are included throughout the text.

REMERCIEMENTS

Merci premièrement à mon directeur de mémoire, le professeur Dominique Bernard Bauer pour ses commentaires et sa disponibilité en dehors des heures de bureau et durant les congés.

Je me dois de remercier Pyrotech BEI inc. et plus particulièrement monsieur Michael J. Rowen, président, et monsieur Michel Gauthier, vice-président, pour leur grande souplesse et contribution qui ont permis la réalisation de ce mémoire.

J'aimerais remercier mon épouse Nathalie Benoit pour son exceptionnel support et son aide durant toutes mes soirées et fins de semaines d'études au cours des trois dernières années. J'aimerais aussi remercier Danielle Lirette pour sa rapidité d'exécution lors de la mise en page du texte. Merci à mon ami Patrick Derome, informaticien, pour avoir remis en état mon ordinateur et récupéré la vaste majorité des fichiers informatiques de ce mémoire. Merci à ma mère Louise Desjardins pour la révision du texte. Merci à mes enfants, Loïc et Xavier Poupart, pour m'avoir tous deux rapidement laissé dormir la nuit, et à Loïc pour s'être occupé de son nouveau petit frère Xavier. Je veux remercier aussi mes parents et amis de tous les encouragements qu'ils m'ont témoignés pour la rédaction de ce mémoire.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
SOMMAIRE	i
ABSTRACT.....	ii
REMERCIEMENTS	iii
TABLE DES MATIÈRES.....	iv
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES PHOTOGRAPHIES.....	ix
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	xi
LEXIQUE	xii
INTRODUCTION.....	1
 CHAPITRE 1 PRÉPARATION POUR L'AUSCULTATION DU BÂTIMENT INCENDIÉ.....	 5
1.1 Titres et fonctions des intervenants	5
1.2 Mandat	6
1.3 Recherche d'informations et de documents	7
1.3.1 Documents de la municipalité	10
1.4 Lois et règlements.....	11
1.4.1 Édifices publics	11
1.4.2 Rapports d'inspection de la Régie du bâtiment du Québec	12
1.4.3 Nouvelles lois sur le bâtiment	13
1.5 Exigences des codes relatives aux dommages par incendies	14
1.5.1 Code national du bâtiment du Canada	14
1.5.1.1 Résistance à un feu normalisé	15
1.5.1.2 Résistance calculée	16
1.5.1.3 Toitures	17
1.5.1.4 Vides techniques.....	18
1.5.2 Codes américains.....	19
1.6 Considération d'accès et de sécurité sur les lieux de l'incendie	19
1.6.1 Accès aux lieux de l'incendie.....	20
1.6.2 Collaboration du propriétaire et des pompiers	20
1.6.3 Vérification de la présence d'éléments toxiques et de contamination.....	21

1.6.4	Estimation de l'instabilité imminente et évaluation sommaire des dommages structuraux	22
-------	---	----

CHAPITRE 2 CARACTÉRISATION DE L'INCENDIE24

2.1	Durée de l'incendie	24
2.2	Températures atteintes, fusion des matériaux	25
2.2.1	Brûlis à blanc	27
2.2.2	Cas de bâtiments fortement endommagés	27
2.2.3	Sondes thermiques	28
2.3	Origine et cause de l'incendie	28
2.4	Feu normalisé et feu réel	30
2.5	Appareillage pour reproduire un feu normalisé	31
2.5.1	Fours horizontaux et verticaux	33
2.6	Modélisation de l'incendie	37

CHAPITRE 3 ÉTUDE DE LA RÉACTION DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION FACE À L'INCENDIE41

3.1	Lignes directrices de l'ASCE 11-90	41
3.2	Embrasement généralisé	42
3.3	Essais destructifs	45
3.4	Acier	45
3.4.1	Structure d'acier avant l'incendie	49
3.4.2	Déformations de la pièce refroidie	50
3.4.3	Oxydation	51
3.4.4	Acier et température d'embrasement généralisé	51
3.4.5	Étude sur l'acier résistant au feu	52
3.5	Bois	53
3.5.1	Carbonisation du bois et durée de l'incendie	55
3.5.2	Noircissement du bois par pourriture ou fausse carbonisation	56
3.5.3	Évaluation des dommages à une ossature de bois	57
3.6	Béton	57
3.6.1	Maçonnerie	59
3.6.2	Fissures dans le béton	60
3.6.3	Éclatements de surface	60
3.6.4	Essais sur le béton	63

CHAPITRE 4	ANALYSE DES CONSTATATIONS RÉSULTANT DE L'AUSCULTATION DU BÂTIMENT INCENDIÉ.....	65
4.1	Évaluation de la détérioration de la structure.....	65
4.1.1	Redistribution des charges dans la structure	66
4.2	Photographies et illustrations	67
4.3	Recommandations.....	74
CHAPITRE 5	ÉTUDES DE CAS.....	76
5.1	Étude de cas n° 1 – Charpente d'acier	76
5.1.1	Examen visuel de la charpente d'acier.....	77
5.1.2	Conclusion.....	83
5.2	Étude de cas n° 2 – Charpente de bois	85
5.2.1	Examen visuel de la charpente de bois	85
5.2.2	Conclusion.....	86
5.3	Étude de cas n° 3 – Sonde thermique et feu extérieur	86
5.3.1	Examen visuel du mur	87
5.3.2	Conclusion.....	88
CONCLUSION	91
ANNEXES		
1 :	Les pertes causées par l'incendie au Canada	95
2 :	Exemple de rapport d'inspection de la Régie du bâtiment du Québec	98
3 :	Extraits du rapport de température de la sonde thermique.....	103
BIBLIOGRAPHIE	106

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau I	Classification des toitures.....18
Tableau II	Température de fusion26
Tableau III	Températures critiques de quelques métaux utilisés dans la construction des bâtiments.....48
Tableau IV	Températures maximales suggérées pour divers aciers49
Tableau V	Dates d'utilisation de la fonte, du fer forgé et de l'acier dans les bâtiments50
Tableau VI	Effets de la chaleur sur le béton.....59

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1	Courbes temps-température normalisées S101 et 170931
Figure 2	Courbes temps-température normalisées et mesurées du four de l'IRC..32
Figure 3	Four horizontal pour les planchers.....34
Figure 4	Essai de résistance au feu pour un plancher35
Figure 5	Four vertical pour les murs.....36
Figure 6	Four vertical.....37
Figure 7	Feu dans une pièce43
Figure 8	Courbe d'embrasement généralisé.....44
Figure 9	Courbes de chaleur/perte pour les aciers A7 et A36.....46
Figure 10	Courbes pour un acier de construction.....47
Figure 11	Courbe de chaleur/perte pour l'aluminium 6061-T647
Figure 12	Plancher Slimflor53
Figure 13	Plancher Slimdek53
Figure 14	Appareil d'essais en tunnel55
Figure 15	Fissuration et éclatement du béton par contraintes thermiques.....61
Figure 16	Éclatement du béton dû aux contraintes thermiques après l'incendie62
Figure 17	Déformation d'une poutre66

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

	Page
Photographie 1	Embrasement généralisé, vue n° 1.....44
Photographie 2	Embrasement généralisé, vue n° 2.....45
Photographie 3	Effets d'une porte sur la propagation du feu.....68
Photographie 4	Extérieur du bâtiment, façade est69
Photographie 5	Extérieur du bâtiment, arrière et coté sud69
Photographie 6	Mur ouest70
Photographie 7	Mur nord70
Photographie 8	Mur est71
Photographie 9	Mur sud71
Photographie 10	Plafond partie nord-est.....72
Photographie 11	Plafond partie sud-est72
Photographie 12	Plancher partie nord-est73
Photographie 13	Plancher partie sud-est73
Photographie 14	Façade du bâtiment après l'incendie78
Photographie 15	Arrière et côté gauche du bâtiment incendié.....78
Photographie 16	Poutres du toit fortement déformées après l'incendie79
Photographie 17	Déformation des poutres du toit79
Photographie 18	Grandes déformations et déversement des poutres du toit80
Photographie 19	Assemblage entre la poutre du dernier étage et le mur mitoyen80
Photographie 20	Façade du bâtiment incendié.....81
Photographie 21	Plancher de béton du dernier étage.....82
Photographie 22	Section du plancher de béton avec des tuiles vinyliques82
Photographie 23	Vue générale du mur et position de la sonde89

Photographie 24	Sonde et section du mur endommagé par l'incendie.....	90
Photographie 25	Sonde après l'incendie.....	90

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ACI	American Concrete Institute
ACCP	Association canadienne du ciment Portland
ASCE	American Society of Civil Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
CCB	Conseil canadien du bois
CNB	Code national du bâtiment du Canada
CNPI	Code national de prévention des incendies
CISC	Canadian Institute of Steel Construction
CSA	Canadian Standards Association (Association canadienne de normalisation)
E119	ASTM E119 <i>Standard Test Methods for Fire Tests of Building Constructions and Materials</i>
IPF	Indice de propagation de la flamme
NFPA	National Fire Protection Association
RBQ	Régie du bâtiment du Québec
S101	CAN/ULC-S101 <i>Méthodes d'essai normalisées de résistance au feu des constructions et des matériaux</i>
UL	Underwriters' Laboratories Inc (Laboratoires des assureurs aux États-Unis d'Amérique)
ULC	Underwriters' Laboratories of Canada (Laboratoires des assureurs du Canada)

LEXIQUE

Dans ses observations, le témoin expert utilise une terminologie spécifique à la vérification de bâtiment incendié ; le lexique qui suit précise les termes couramment utilisés. Ce lexique peut éventuellement être inclus dans un guide d'auscultation des bâtiments incendiés.

Béton avec agrégats siliceux

Béton avec des agrégats contenant de la silice (OQLF, 2002).

Calcaire (pierre calcaire)

Roche sédimentaire constituée de carbonate de calcium, CaCO_3 , ayant pour origine soit une précipitation chimique, soit l'accumulation de coquilles d'organismes vivant dans les eaux de mer. Elle entre, comme matière première, dans la fabrication des chaux et ciments. Elle est utilisée comme pierre de construction et comme granulat (OQLF, 2002).

Charge combustible

Quantité de matériaux combustible dans une pièce ou section du bâtiment.

Degré de résistance au feu

Temps pendant lequel une construction résiste au passage du feu et limite la transmission de chaleur en utilisant une source de chaleur qui simule une exposition à un feu.

Édifices publics

Désignent les églises, les chapelles ou les édifices qui servent d'églises ou de chapelles, les monastères, les noviciats, les maisons de retraites, les séminaires, les collèges, les couvents, les maisons d'école, les jardins d'enfance, les garderies, les crèches et ouvroirs,

les orphelinats, les patronages, les colonies de vacances, les hôpitaux, les cliniques, les maisons de convalescence ou de repos, les asiles, les refuges, les hôtels, les maisons de logement de dix chambres ou plus, les maisons de rapport de plus de deux étages et de huit logements, les clubs, les cabarets, les cafés-concerts, les music-halls, les cinémas, les théâtres ou les salles utilisées pour des fins similaires, les ciné-parcs, les salles de réunions publiques, de conférences, de divertissements publics, les salles municipales, les édifices utilisés pour les expositions, les foires, les kermesses, les estrades situées sur les champs de course ou utilisées pour des divertissements publics, les arènes de lutte, de boxe, de gouret ou utilisées pour d'autres sports, les édifices de plus de deux étages utilisés comme bureaux, les magasins dont la surface de plancher excède trois cent mètres carrés, les gares de chemin de fer, de tramway ou d'autobus, les bureaux de la publicité des droits, les bibliothèques, musées et bains publics ainsi que les remontées mécaniques et les jeux mécaniques (Loi sur la sécurité dans les édifices publics, 2001).

Hyperstatique

État d'un système constructif non isostatique. On dit aussi qu'il offre des liaisons surabondantes ou encore qu'il est statiquement indéterminé, par le fait même que les équations d'équilibre statique sont en nombre insuffisant pour déterminer les liaisons extérieures au système. Plus il manque d'équations, plus le degré d'hyperstaticité est élevé. Pour résoudre le problème, il faut adjoindre aux équations d'équilibre statique des équations fournies par l'étude des déformations du système étudié, donc dépendant de la raideur des barres (ou des poutres et poteaux à treillis), et ceci en calculant l'énergie interne. L'hyperstaticité découle de la forme de la construction, des déplacements ou rotations des appuis (liaisons extérieures, fondations comprises), parfois des deux causes conjuguées. On distingue :

- a. l'hyperstaticité extérieure, lorsque l'on considère l'ossature complète par rapport aux fondations ou une autre ossature. La frontière de l'isolement mécanique du système

passer par la liaison aux fondations ou par la liaison à une ou plusieurs ossatures voisines ;

- b. l'hyperstaticité intérieure, lorsque l'on considère une pièce ou un sous-ensemble amené à être isolé dans une ossature. Les bâtiments à portiques multiples, à haut degré d'hyperstaticité, sont calculés par les méthodes de Cross, Kani, Takabeya ou matricielles faisant appel à l'ordinateur. Les poutres continues, qui font aussi partie des systèmes hyperstatiques, sont résolues par le théorème des trois moments. Lorsque, dans un système hyperstatique, par exemple une poutre continue sur quatre appuis, un de ceux-ci se dérobe partiellement, l'ensemble demeure hyperstatique mais avec, pour conséquence, une redistribution des efforts (OQLF, 2002).

Patron de carbonisation

Marque laissée par la carbonisation sur une surface combustible dont la forme est donnée par la position d'attaque d'une source de chaleur.

Plaque de gypse de « type X »

La présence de plaques de gypse sur les divisions dans le bâtiment limite beaucoup la propagation de l'incendie. Actuellement sur le marché, les fabricants proposent trois principaux types de panneaux, si l'on fait exclusion des panneaux résistants à l'eau et autres caractéristiques, qui influencent la propagation de l'incendie, soit les panneaux de gypse ordinaire, ceux de « type X » et ceux de « type C ». Les panneaux de gypse ordinaire ont une résistance naturelle au feu par la présence de gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), dont chaque molécule contient deux molécules d'eau. Les plaques de gypse de « type X », sur lesquelles on retrouve le nom FIRECODE, rencontrent la norme CAN/CSA-A82.27 (1991) *Plaques de plâtre*. Elles sont spécialement conçues pour avoir une résistance au feu supérieure aux plaques ordinaires. Essentiellement, les fabricants incorporent à l'âme des panneaux une formulation, souvent brevetée, telle que l'ajout de fibres incombustibles. Finalement, il y a sur le marché des fabricants qui utilisent la désignation « type C » ou « type X amélioré » pour faire référence à des panneaux qui

ont une meilleure résistance au feu que la désignation « type X ». Notons que, dans le Code national du bâtiment du Canada - 1995 (CNB), on fait référence uniquement aux assemblages faits avec des panneaux de gypse ordinaire et de « type X ». La désignation « type C » n'est pas encore incluse dans le CNB, mais des assemblages faits avec du « type C » ont été homologués par différents fabricants. On retrouve la désignation (de même que l'épaisseur et autres informations) des panneaux imprimée à l'arrière de ceux-ci (l'absence de désignation indique qu'il s'agit de panneaux sans désignation, c'est-à-dire de gypse ordinaire). Il est donc facile de noter cette information pendant l'examen du bâtiment.

Silice

Dioxyde de silicium SiO_2 :

- a. sous forme de silicates : un des constituants principaux des ciments Portlands ;
- b. sous forme plus ou moins pure : quartz, silex, diatomites, kieselguhr, silex, etc., utilisé comme granulats ou additifs du béton (OQLF, 2002).

Siliceux

Formé de silice ou contenant de la silice (OQLF, 2002).

Vide technique

Espace dans un bâtiment qui reçoit les installations techniques ou qui est utilisé comme chambre d'air. Comprend vides sous combles, vides pour conduits, vides sanitaires, gaines, locaux techniques, salles mécaniques d'ascenseur en construction hors toit et les installations qu'ils renferment (OQLF, 2002).

INTRODUCTION

Au Canada en 1999, plus de 55 000 incendies ont été rapportés causant 388 décès, 2 300 blessures et 1 200 000 000 \$ en pertes matérielles (annexe 1). Au Québec, c'est 10 032 incendies rapportés en 1999 causant plus de 383 850 000 \$ en pertes matérielles (Ministère de la santé publique du Québec, 1999). L'utilisation du présent guide d'auscultation facilitera l'évaluation de ces pertes par une meilleure connaissance des dommages causés par un incendie. De plus, pour les témoins experts, un tel guide permettra de connaître les différents outils disponibles et conséquemment d'utiliser une méthode adaptée.

Une fois l'incendie éteint et le travail des pompiers terminé, un volet important pour réduire les pertes matérielles est de déterminer la nature et l'étendue des dommages, cela afin de prendre une décision éclairée sur l'état du bâtiment et sur les démarches futures qui en découlent. Le manque d'information sur les dommages attribuables à un incendie amène le propriétaire à vouloir remplacer tout ce qui a été le moins touché par l'incendie, sans justification autre que l'apparence esthétique ou la peur de l'incendie. Or, plus le propriétaire comprend les réactions du bâtiment face à l'incendie, plus il comprend pourquoi tout n'a pas à être remplacé. En outre, cela peut lui apporter des avantages économiques et réduire significativement les délais. Par ailleurs, l'assureur qui défraie les coûts de la perte doit également établir le plus objectivement possible l'étendue des dommages dans le but d'un règlement d'assurance juste et équitable. D'une part, un feu rapidement maîtrisé peut ne requérir qu'un nettoyage et une simple vérification visuelle suffit. D'autre part, un feu difficilement contrôlé dans un bâtiment de grandes dimensions mène à une destruction importante du bâtiment et nécessite des vérifications détaillées. Ces vérifications peuvent entraîner des coûts que le témoin expert doit être en mesure de justifier.

Le but du présent mémoire est d'élaborer une méthode adaptée menant à la réalisation d'un guide d'auscultation des bâtiments incendiés à l'usage du témoin expert. Les objectifs dans ce sens sont :

- a. faire une revue des documents et études sur l'auscultation de bâtiments incendiés ;
- b. développer une méthode originale qui permettrait une évaluation ciblée des dommages.

Actuellement, dans le domaine de l'incendie, les ressources sont disséminées et utilisées au gré de chacun. Il n'y a donc pas de base pour une discussion valable entre les intervenants.

D'une bibliographie exhaustive de la littérature portant sur les dommages causés par le feu, deux types d'informations ressortent :

- a. celles relatives aux auscultations de bâtiments existants ;
- b. celles relatives aux effets d'un incendie sur les bâtiments.

Parmi les nombreux documents consultés traitant d'auscultation de bâtiments existants, très peu portent spécifiquement sur les bâtiments endommagés par le feu et aucun ne présente une méthode d'auscultation de bâtiments incendiés. Plusieurs études portent sur les effets d'un incendie sur les matériaux ou sur diverses composantes d'un bâtiment (murs, planchers, plafonds et toits) sans toutefois traiter de l'auscultation du bâtiment incendié dans son ensemble. Le présent mémoire propose donc une approche spécifique à l'auscultation de bâtiments incendiés afin de déterminer la nature et l'étendue des dommages attribuables au feu.

Le mémoire est divisé en cinq chapitres. L'ordre des chapitres suit la démarche proposée pour vérifier adéquatement un bâtiment incendié.

Le chapitre 1 présente les préparatifs à effectuer pour l'auscultation du bâtiment incendié. Tout d'abord, les titres et fonctions des intervenants sont définis, puis le mandat à réaliser par le témoin expert est établi. La recherche d'informations et de documents spécifiques au bâtiment incendié est décrite. Les exigences des lois, règlements et codes les plus directement applicables à l'auscultation de bâtiments incendiés sont définies. Le chapitre se termine en présentant les considérations d'accès et de sécurité pour le témoin expert. Ce dernier a donc toutes les informations disponibles en arrivant dans le bâtiment et est prêt pour l'étape suivante.

Le chapitre 2 décrit l'auscultation du bâtiment endommagé de façon à caractériser l'incendie c'est-à-dire établir avec le plus de précision possible les deux paramètres principaux de l'incendie, soit sa durée et les températures atteintes. Sont aussi traités l'origine de l'incendie ainsi que le feu normalisé comparé au feu réel pour en faire ressortir les différences et souligner les prémisses permettant au feu normalisé d'être reproductible. L'appareillage utilisé pour reproduire un feu normalisé lors d'essais grandeur nature sur des planchers et murs est décrit brièvement. Les avantages et limites de la modélisation d'un incendie sont aussi présentés.

Le chapitre 3 étudie la réaction des matériaux de construction lors de l'incendie. Le témoin expert doit identifier les dégradations structurales importantes et recommander les expertises nécessaires ainsi que leur niveau de détails. Il doit être en mesure de prouver ses constatations à l'aide d'études portant sur l'évaluation des dommages aux matériaux dus à l'incendie. Le témoin expert étudie les effets de l'embrasement généralisé dans le bâtiment. On définit les réactions face à l'incendie, des matériaux les plus usuels dans un bâtiment, soit l'acier, le bois et le béton, et leurs signes de défaillance.

Le chapitre 4 traite de l'analyse des informations obtenues et des constatations faites lors des trois étapes précédentes. C'est l'étape finale du guide d'auscultation des bâtiments incendiés. Le témoin expert connaît le bâtiment et est donc en mesure d'évaluer la détérioration de la structure et la redistribution des charges qui s'ensuit. Il faut souligner l'importance de bien rapporter les observations qui sont primordiales pour justifier les recommandations de l'expert. L'usage de photographies et d'illustrations simplifie l'étude des dossiers. Finalement, les recommandations lors du nettoyage, de la reconstruction ou de la démolition du bâtiment sont brièvement présentées.

Le chapitre 5 présente trois études de cas illustrant la méthode originale proposée. La première étude de cas porte sur une charpente d'acier, la deuxième sur une charpente de bois et la dernière sur un cas particulier d'une sonde sur un mur extérieur.

Plusieurs exemples de la technique développée par l'auteur dans le présent document sont tirés de son expérience lors d'expertises de bâtiments faites pour des assureurs. Les détails des expertises ont été volontairement omis afin de préserver la confidentialité des informations ainsi obtenues.

CHAPITRE 1

PRÉPARATION POUR L'AUSCULTATION DU BÂTIMENT INCENDIÉ

La préparation à l'auscultation d'un bâtiment se divise essentiellement en cinq parties, soit le mandat, la documentation, la recherche des lois et règlements lors de la construction du bâtiment, les exigences des codes relatives aux dommages par incendies et l'accès et la sécurité sur les lieux de l'incendie.

Avant de procéder à chacune de ces cinq parties, le témoin expert doit connaître les titres et fonctions des intervenants rencontrés sur une scène d'incendie. Le présent chapitre constitue la première étape de la méthode et le but est essentiellement de recueillir toutes les informations disponibles sur le bâtiment en vue de réaliser l'auscultation du bâtiment le plus efficacement possible.

1.1 Titres et fonctions des intervenants

Lorsqu'un bâtiment est incendié, plusieurs intervenants entrent en jeu. Voici quelques-uns de leurs titres et fonctions.

Le **témoin expert** a un mandat qui lui est confié pour un bâtiment incendié. Celui-ci vérifie des éléments précis reliés au feu. Par exemple, l'état du bâtiment ou encore l'origine et la cause de l'incendie. Son témoignage doit permettre aux instances juridiques de bien comprendre les éléments techniques de l'incendie. On l'identifie également comme **ingénieur expert**, **expert légiste**, **inspecteur**, **enquêteur**.

Les **pompiers** sont responsables du combat de l'incendie et de la sécurité des lieux, tout au long de l'incendie. Les **pompiers-enquêteurs** sont des pompiers d'expérience formés pour examiner la scène d'incendie après le feu et faire enquête.

Les **policiers-enquêteurs** cherchent les circonstances et la cause potentiellement intentionnelle de l'incendie.

Après le feu, le **propriétaire** redevient responsable de la sécurité de son immeuble et de son accès.

Après le feu, le **locataire** redevient responsable de la sécurité de ses biens.

L'**expert en sinistre** est une personne centrale qui représente l'assureur et gère tout le processus de réclamations relié à l'incendie. Il relève de ses **principaux**, un terme général qui désigne ceux à qui il se rapporte, soit la maison-mère, soit l'assureur, soit l'avocat d'une des parties en litige. On l'identifie également comme **expert de l'assureur, expert senior, enquêteur d'assurance**.

L'**ajusteur public** a les mêmes fonctions que l'expert en sinistre mais est mandaté par le public, c'est-à-dire un individu ou une personne morale sans aucun lien avec l'assureur. Il est appelé à représenter les intérêts d'un sinistré face à l'assureur ou à le représenter face à d'autres assureurs ou personnes.

Les **entrepreneurs** exécutent les travaux d'urgence reliés au feu.

1.2 Mandat

Il est primordial de bien définir le mandat qui est confié au témoin expert par le client. Sans mandat clair, le travail à accomplir n'est pas bien défini et donc difficile à réaliser. Pour définir le mandat, il est nécessaire d'établir les exigences du client et ses implications face au bâtiment. De plus, afin de l'aider à définir le mandat confié, le témoin expert doit lui en faire connaître les points importants permettant d'établir la nature et l'étendue des dommages. Pour établir ceux-ci, on peut, entre autres, citer des

points importants identifiés lors d'enquêtes similaires passées. Ainsi le client comprend le but et les limites du mandat et clarifie ses exigences.

En fait, les interventions à réaliser sont intimement liées à la nature du mandat confié au témoin expert. Par exemple, dans le cas d'un incendie qui endommage un bâtiment voisin, une des parties (telles que propriétaire, locataire, manufacturier, distributeur ou gestionnaire) pourrait être intéressée à confier au témoin expert un mandat afin de distinguer les dommages au bâtiment qui résultent de l'incendie des dommages qui existaient déjà ou à établir la conformité du bâtiment avant l'attaque du feu aux exigences de la réglementation applicable. Un autre exemple de mandat serait de vérifier l'état des portes brûlées. Le témoin expert peut établir si elles pouvaient premièrement agir comme porte coupe-feu ayant une résistance au feu, puis vérifier leur conformité. Dans le cas d'un bâtiment complètement détruit, le mandat du témoin expert peut exclure l'examen du bâtiment et se concentrer sur la recherche de la réglementation applicable et sur l'étude des plans disponibles. À l'opposé, dans le cas d'un feu rapidement maîtrisé ayant causé peu de dommages, un simple examen du bâtiment peut suffire à expliquer pourquoi le bâtiment est réparable, sans autre démarche.

Peu importe le mandat, le client doit toujours être informé des démarches à entreprendre, des motifs et des résultats possibles de celles-ci avant sa réalisation.

1.3 Recherche d'informations et de documents

Une fois le mandat défini, la recherche d'informations et de documents relatifs au bâtiment incendié doit débiter avant de procéder à l'auscultation du bâtiment.

Le témoin expert doit donc tenter d'obtenir le plus d'informations possibles sur le bâtiment incendié. Il doit recueillir les informations sur les circonstances entourant le feu (NFPA 921, 2001). Pour ce faire, il est essentiel de parler avec les gens et de déterminer

quelles ont été les dernières activités réalisées dans la zone incendiée et son voisinage. La météo et les indices sur la direction des vents lors de l'incendie doivent également être obtenus par l'analyse des rapports météorologiques d'Environnement Canada, des conditions climatiques observées par les sinistrés, des dommages à l'extérieur du bâtiment tels que la présence de cendres sur les bâtiments voisins ou des feuilles d'arbres desséchées par la chaleur.

La norme NFPA 921 (2001), intitulée *Investigation en incendies et explosions*, donne une méthode pour déterminer l'origine et la cause d'un incendie (voir le point 2.3). Une section de la NFPA 921 (2001) décrit les sources d'informations disponibles pour mieux connaître l'incendie. Or, ces mêmes informations servent également au témoin expert lors de l'analyse du comportement du bâtiment face à l'incendie. La liste suivante donne les principales sources d'informations et résume leurs principales utilités dans la détermination de la nature et l'étendue des dommages au bâtiment :

- a. pompiers impliqués dans le combat et pompier-enquêteur pour l'intensité du feu et les anomalies dans la propagation du feu ;
- b. policier-enquêteur dans le cas de feu d'origine suspecte pour les particularités qui rendent l'incendie anormal ;
- c. témoins de l'incendie pour situer la position des premières flammes car cette position constitue habituellement un des endroits les plus endommagés après le feu ;
- d. personnes ayant une connaissance des lieux (propriétaire, locataire, employés) pour connaître l'état et les problèmes du bâtiment avant l'incendie ;
- e. médias pour les images, interviews des personnes touchées, événements similaires rapportés ;
- f. municipalité pour les permis et plans de construction (point 1.3.1) ;
- g. organismes de codes et normes pour la réglementation applicable lors de la construction (point 1.5).

Ces sources d'informations servent à mieux connaître le bâtiment et à déterminer plus rapidement les dommages. De plus, les informations recueillies pourront être validées lors de l'auscultation du bâtiment.

Recueillir les informations pertinentes sur le feu peut consister simplement à consulter les journaux locaux, rejoindre l'inspecteur de la municipalité (point 1.3.1) ou en cas de litige aller jusqu'à demander une copie des rapports d'expertises de tierces parties et aussi obtenir tous les documents disponibles (point 1.4.2), notamment les plans et devis. À ce sujet, compte tenu de la nature confidentielle des informations à obtenir, l'autorisation du propriétaire actuel du bâtiment facilite l'obtention de tels documents ou est souvent exigée par la Régie du bâtiment du Québec (RBQ), la municipalité, l'architecte ou l'ingénieur du propriétaire.

Bien que préférable, il n'est pas toujours possible d'obtenir toutes ces informations pertinentes sur le bâtiment avant de procéder à son examen. Le témoin expert doit alors procéder à l'auscultation du bâtiment telle que décrite dans les chapitres suivants. Des photographies et prises de notes détaillées lors de l'auscultation du bâtiment sont particulièrement importantes si le bâtiment doit subir des modifications après l'inspection par les témoins experts (point 4.2).

Diverses conditions, telles que la démolition prochaine, une situation d'urgence ou un risque d'effondrement, peuvent précipiter l'examen du bâtiment. Notons qu'il est préférable d'obtenir les documents mentionnés ci-dessus avant l'examen du bâtiment. Si cela s'avère impossible, les informations sur le bâtiment doivent quand même être recueillies après l'inspection.

Un des avantages d'obtenir de l'information sur le bâtiment est de pouvoir statuer sur la conformité du bâtiment incendié d'après les informations obtenues, en particulier en ce qui a trait aux détails de construction omis ou remplacés par des assemblages et

constructions inadéquats. Par exemple, le témoin expert remarque la présence d'une cloison coupe-feu faite de blocs de béton mais dont la jonction avec le pontage du toit n'est pas étanche. Dans ce cas, au lieu d'une jonction faite de mortier, la laine isolante en natte est coincée dans la jonction du mur et du toit. La laine, étant remplie d'espace d'air, ne constitue pas un coupe-feu efficace. L'avantage du mortier réside dans le fait qu'il est intrinsèquement résistant au feu.

Nonobstant les résultats, la recherche préalable d'informations est essentielle. Souvent, cette démarche permet d'obtenir des informations ayant été détruites lors de l'incendie et de son combat, telles que les détails de construction, les matériaux utilisés, les détails de conception, la date d'émission des permis, une copie des plans, les inspections et infractions relevées ainsi que les détails des documents utilisés pour l'émission des permis et des avis d'infraction.

1.3.1 Documents de la municipalité

Dans la province de Québec, plusieurs villes adoptent le Code national du bâtiment du Canada (CNB), et c'est souvent la version adoptée qui varie d'une ville à l'autre. Ainsi, pour tous les bâtiments sur le territoire de la municipalité, il faut se référer aux exigences de la Ville, c'est-à-dire à la réglementation adoptée, communément appelée le règlement de construction. La Ville accumule ainsi beaucoup d'informations sur le bâtiment. Les demandes de permis de construction permettent d'établir l'historique du bâtiment tel que la date du permis de construction, qui donne une indication de l'âge du bâtiment, la date des permis de rénovation et la nature des travaux qui ont été effectués sur le bâtiment depuis sa construction. De plus, les demandes de permis peuvent être accompagnées de plans montrant divers détails de construction. Tous ces documents sont généralement du domaine public et donc relativement faciles à obtenir en formulant une demande écrite. Les informations à caractère nominatif sont censurées par la Ville. Toutefois,

l'autorisation des propriétaires du bâtiment permet au témoin expert d'obtenir une copie du document intégral.

1.4 Lois et règlements

Au Québec, plusieurs lois régissent la construction des bâtiments. Ces lois permettent d'obtenir non seulement les critères que le bâtiment se devait de satisfaire, mais aussi d'établir l'historique du bâtiment, dans le cas où le bâtiment a fait l'objet de rénovations importantes. La RBQ assure la mise en application de ces lois. Tout comme la municipalité, la RBQ conserve aussi un dossier pour chaque édifice public.

1.4.1 Édifices publics

Même privés, plusieurs bâtiments sont considérés comme étant des édifices publics aux yeux de la loi sur la sécurité dans les édifices publics (Loi s-3r.4, 2001). Cette loi désigne comme étant des édifices publics entre autres les garderies les maisons de logement de dix chambres ou plus, les maisons de plus de deux étages et de huit logements, les édifices de plus de deux étages utilisés comme bureaux et les magasins dont la surface de plancher excède trois cent mètres carrés. Bref, lorsqu'un bâtiment est relativement grand, il s'agit fort probablement d'un édifice public. Cette loi édicte les exigences de sécurité minimale, inspirées des codes nationaux, qui doivent être respectées par le propriétaire. Conséquemment, ces édifices doivent rencontrer les exigences de cette loi. Cette dernière étant rétroactive jusqu'en 1908, même de vieux édifices publics doivent toujours être conformes à la réglementation actuelle, sauf pour les édifices construits avant cette date. Les règles de sécurité décrites dans cette loi peuvent être d'une importance cruciale dans le traitement de plusieurs dossiers, notamment lorsque l'on veut savoir si des dommages peuvent être reliés à une non-conformité par rapport au respect de cette loi.

1.4.2 Rapports d'inspection de la Régie du bâtiment du Québec

Dans le cas d'un bâtiment public, la RBQ veille entre autres choses à l'application de la *Loi sur la sécurité dans les édifices publics* (Loi s-3r.4, 2001) et, depuis 2001, à l'application de la *Loi sur le bâtiment* (Loi B-1.1, 2003) par le biais d'inspecteurs qui émettent des rapports d'inspections et des avis de non-conformité. La RBQ est donc une aide précieuse afin d'obtenir des rapports d'inspection faits avant l'incendie. Ces rapports sont disponibles au moins pour les cinq dernières années et souvent plus par le biais de la *Loi sur l'accès aux documents des organismes publics et sur la protection des renseignements personnels* (Loi 65, 2003). L'annexe 2, contient un exemple de rapport de la RBQ.

Malgré que les informations nominatives soient généralement retranchées de ces rapports, beaucoup d'informations utiles y demeurent. Généralement, il est possible d'obtenir des copies des rapports d'inspection, de contre-visites et même des lettres de suivis, de conformité et d'acceptation de mesures dérogatoires ou compensatoires.

À la RBQ, on retrouve essentiellement deux sortes de rapports. Un premier rapport d'inspection donne entre autres :

- a. la date d'inspection ;
- b. les déficiences en vertu des lois appliquées par la RBQ ;
- c. les délais (jours) de correction.

Par la suite, un rapport de contre-visite fournit entre autres :

- a. la date de contre-visite ;
- b. les déficiences en vertu des lois appliquées par la RBQ ;

- c. l'état actuel des déficiences selon trois descriptions, soit annulée, corrigée ou poursuivie ;
- d. les conclusions d'activités par les termes suivants : émission de certificat, finale, abandon, recommandation, poursuivie, échec, en suspens.

Ces informations permettent de mieux connaître le bâtiment et surtout d'identifier les déficiences passées qui pourraient avoir un impact sur la propagation du feu et de ses effets sur les dommages au bâtiment. Par exemple, lors d'un feu dans un couloir au rez-de-chaussée d'un hôtel, la fumée et les gaz chauds se sont propagés principalement par les conduits de ventilation et ont causé de lourds dommages à l'étage supérieur. Or, les rapports de la RBQ avaient identifié l'absence de volet coupe-feu dans les conduits entre les couloirs et le reste de l'hôtel. Aucun volet coupe-feu n'a été observé dans les conduits au-dessus des couloirs par le témoin expert lors de l'auscultation et la RBQ ne détenait aucune information indiquant que la situation avait été corrigée ; le rapport de contre-visite identifiait toujours cette déficience. Ces informations indiquent donc une non-conformité.

1.4.3 Nouvelles lois sur le bâtiment

Une nouvelle loi sur le bâtiment actualise et remplace la *Loi sur la sécurité dans les édifices publics*. L'extrait suivant provient de la RBQ et décrit l'arrivée de la nouvelle loi sur le bâtiment :

« En l'an 2000, en plus du *Code national du bâtiment du Canada (CNB)*, la Régie du bâtiment du Québec (*RBQ*) et l'*Institut de recherche en construction (IRC)* du Conseil national de recherches du Canada (*CNRC*) ont publié le *Code de construction du Québec - Chapitre I, Bâtiment, et Code national du bâtiment - Canada 1995 (modifié)*. Ce document a été préparé afin de faciliter l'application du Code de construction adopté en vertu de la *Loi sur le bâtiment* (décret 953-2000, 26 juillet 2000, L.R.Q., c. B-1.1) sur l'ensemble du territoire du Québec (*RBQ*, 2003). »

Selon la RBQ, le chapitre *Bâtiment* du *Code de construction du Québec - Chapitre I, Bâtiment*, et *Code national du bâtiment - Canada 1995 (modifié)* s'applique aux bâtiments suivants : a) les bâtiments désignés aujourd'hui comme des édifices publics ; b) les condominiums résidentiels de plus de deux étages et de plus de huit logements.

Le chapitre *Bâtiment* vise également les équipements destinés à l'usage du public, c'est-à-dire les estrades, tentes ou structures gonflables et les belvédères, de même que les bâtiments gouvernementaux québécois. De plus, dans le *Règlement d'application de la Loi sur le bâtiment* (2003), on retrouve entre autres les exceptions à la *Loi sur le bâtiment* (RBQ, 2003). Cette nouvelle loi sur le bâtiment remplace les anciennes lois et anciens règlements sur la sécurité dans les édifices publics.

1.5 Exigences des codes relatives aux dommages par incendies

La réglementation applicable pour la construction de bâtiments provient principalement des exigences décrites dans les codes nationaux et plus particulièrement dans le CNB.

Les normes de sécurité incendie du CNB indiquent les performances minimales requises pour les assemblages du bâtiment, c'est-à-dire les murs, planchers et toits. Des essais normalisés permettent d'établir les performances des différents assemblages. Ces essais utilisent un feu théorique normalisé (point 2.4) qui tente de reproduire les effets d'un feu. On présentera donc le Code national du bâtiment du Canada complémenté par les normes de la National Fire Protection Association (NFPA).

1.5.1 Code national du bâtiment du Canada

Un des objectifs principaux du CNB est de préserver le bâtiment et son contenu. Ce code est une source d'informations importantes et un outil de base pour le témoin expert car il permet de connaître la protection incendie qui doit se retrouver dans un bâtiment. Il

constitue aussi une source de références à d'autres normes et codes permettant d'approfondir certains aspects des exigences incendie sur les assemblages du bâtiment.

Par exemple, supposons qu'après le feu, il ne reste qu'une moitié du bâtiment. Sur place, le témoin expert constate que le mur entre les deux moitiés est fait de blocs de béton et que sa hauteur dépasse le toit. À la section 3 du CNB, il constate qu'une résistance de deux heures au feu est exigée. À l'annexe D du CNB, il constate qu'un assemblage de mur identique à celui retrouvé sur la scène de l'incendie est aussi de deux heures, donc conforme, ce qui explique pourquoi le feu n'a affecté qu'une moitié du bâtiment, limitant ainsi les dommages. Ainsi, après chaque auscultation de bâtiment, le témoin expert doit chercher les extraits du CNB permettant d'expliquer l'étendue des dommages constatés.

Le CNB indique les exigences principalement pour les bâtiments neufs. Dans le cas de bâtiments partiellement reconstruits ou rénovés avant l'incendie, on doit se référer aux assouplissements permis dans les codes. Ainsi, un document tel que *Lignes directrices pour l'application aux bâtiments existants de la partie 3 du CNB*, normalement utilisé lors de la conception de rénovation passée, est utilisé de façon différente lorsqu'il y a un incendie. Dans le cas d'un incendie, on cherche à établir si les éléments de protection minimale exigés étaient présents et s'ils ont eu ou non un comportement adéquat.

1.5.1.1 Résistance à un feu normalisé

Le commentaire sur le CNB (CCB, 1985a) donne les détails sur les méthodes normalisées d'essais servant à mesurer la résistance au feu des assemblages de construction en bois comme les murs, les planchers et les toits. Les assemblages avec d'autres matériaux de construction tels que l'acier, le béton sont aussi soumis à ces méthodes d'essais. Le CNB vise avant tout à contenir l'incendie et à éviter l'effondrement de la structure en spécifiant la résistance au feu. Cette résistance est une

mesure obtenue lors d'essais normalisés donc théoriques et non une résistance moyenne constatée lors d'incendies réels. Soulignons que c'est l'assemblage complet qui permet d'atteindre la résistance au feu voulue et non chacun des éléments qui le compose.

Par exemple, lors de l'essai d'un assemblage ayant plusieurs épaisseurs, la face exposée au feu peut s'effondrer et la structure de l'assemblage peut avoir été attaquée par l'incendie sans qu'il y ait défaillance de l'assemblage. Selon les normes de la UL 723 (1989), la chaleur transmise sur la face non-exposée du mur ne doit pas dépasser 139°C, ni laisser passer des gaz chauds. Au-delà de cette limite, un élément combustible appuyé contre la face non-exposée peut s'allumer et propager l'incendie. La température moyenne de l'acier ne doit pas dépasser 538 °C. Voilà donc des paramètres utiles pour le témoin expert.

Une des prémisses de ces essais normalisés est que le feu origine de l'intérieur du bâtiment ; ainsi la résistance pour les planchers, les murs et le toit est déterminée à partir de la face intérieure des assemblages. L'attaque du feu se fait uniquement d'un côté à la fois et les planchers et plafonds sont exposés au feu par le dessous.

L'attaque du feu par l'intérieur de l'assemblage n'est pas testée. Un feu originant de l'intérieur de l'assemblage, comme celui dû à un court-circuit de fils électriques dans un mur, le traversera beaucoup plus rapidement et affectera les deux parties de l'assemblage simultanément. Dans ce cas, le témoin expert vérifie séparément chacun des éléments de l'assemblage pour en déterminer la résistance.

1.5.1.2 Résistance calculée

Le CNB permet d'utiliser, en plus des essais expérimentaux et des tableaux d'assemblage ayant des résistances spécifiques, la méthode de calcul de résistance au feu par addition des éléments qui composent la structure. Cette méthode assigne une

résistance au feu, comptée en minutes, à chacun des éléments utilisés pour fabriquer un assemblage de mur, de plafond ou de plancher, puis fait la somme algébrique des résistances individuelles de chacun des éléments pour obtenir la résistance au feu de l'ensemble.

Par ce calcul, le témoin expert peut déterminer la résistance prévue de l'assemblage puis la comparer à la résistance observée par les témoins de l'incendie, les pompiers, les policiers et les autres sources d'informations. Également, cette résistance calculée peut servir à corroborer les informations relatives à la propagation de l'incendie. Les dommages de l'autre côté des assemblages répondant aux normes sont réduits car le feu y est contenu un certain temps et la propagation dans le bâtiment est limitée.

1.5.1.3 Toitures

Le but des exigences concernant les matériaux de recouvrement de toiture est de limiter l'avancement du feu par des tisons et brandons qui tombent sur des portions non affectées du toit. Les essais sur les toitures sont donc effectués pour vérifier leur comportement lorsqu'elles sont soumises à un feu provenant de l'extérieur. On étudie trois caractéristiques :

- a. la facilité d'inflammation de la surface ;
- b. la propagation ;
- c. la tendance à produire des fragments inflammables ou incandescents.

Ceci permet finalement de classer les toitures en trois catégories : A, B ou C (CCB, 1985a). Le tableau I résume cette classification.

Dans l'évaluation de l'étendue des dommages par l'incendie, il faut tenir compte du fait qu'il existe différents types de toitures et qu'elles ne réagissent pas toutes de la même

façon. Le témoin expert cherchera, pendant l'auscultation, à établir surtout les différences entre le comportement relaté par les vestiges du toit et le comportement prévu de la toiture. Ainsi, une toiture de catégorie A, qui serait complètement détruite par un feu d'une intensité modérée, demande un examen plus approfondi pour expliquer ce comportement inattendu.

Tableau I
Classification des toitures

Catégorie	Intensité du feu pour lequel la toiture se comporte bien
A	Violente
B	Moyenne
C	Modérée

1.5.1.4 Vides techniques

Les vides techniques doivent être l'objet d'une attention particulière car l'incendie peut s'y propager et s'étendre au-delà des assemblages. Les vides techniques verticaux facilitent l'installation de câbles et autres installations pour le bâtiment. Ils doivent donc être isolés du reste du bâtiment. Quant aux vides techniques horizontaux, ils doivent être divisés par des coupe-feu afin de compartimenter ces espaces (CCB, 1985b).

Dans le cadre de l'auscultation de bâtiments incendiés, on doit déterminer l'état des vides techniques et noter leurs positions. De plus, on cherchera à positionner les murs et séparations coupe-feu ayant pu aider à circonscrire le feu et à limiter la destruction du bâtiment.

1.5.2 Codes américains

En plus des réglementations municipale, provinciale et fédérale, les codes canadiens font référence à certains codes américains, soit directement ou en tant que règles de l'art. La NFPA est une des références importantes dans le domaine incendie. Elle est un organisme international à but non lucratif qui a été fondé en 1896 (NFPA, 2003). Elle publie plus de 300 codes et normes qui traitent de la protection incendie. Le Code national du bâtiment du Canada, le code national de prévention des incendies (CNPI) et plusieurs organismes canadiens en matière de prévention des incendies font référence aux normes et publications de la NFPA.

Le témoin expert doit obtenir l'information sur les codes et normes américains, en vue de l'auscultation, lorsqu'un article d'un code consulté y fait référence. Généralement, les codes et normes américains donnent des détails permettant de comprendre l'esprit de l'article d'un code ou des détails précisant la nature des valeurs qui y sont indiquées. Par exemple, le chapitre 3 du CNB précise dans quels bâtiments des gicleurs doivent être installés. Pour l'installation de ceux-ci, le CNB fait référence à la norme NFPA 13 (2002) intitulée *Normes pour l'installation de système de gicleurs*. Celle-ci décrit en détail l'installation de gicleurs qui protégeront le bâtiment.

1.6 Considération d'accès et de sécurité sur les lieux de l'incendie

Des considérations d'accès et de sécurité sur les lieux de l'incendie sont essentielles afin de réaliser en toute sécurité le travail à accomplir. Afin d'avoir accès sécuritairement aux lieux de l'incendie, il faut avoir la collaboration du propriétaire et des pompiers, vérifier la présence d'éléments toxiques, estimer l'instabilité imminente du bâtiment et évaluer sommairement les dommages structuraux.

1.6.1 Accès aux lieux de l'incendie

Un bâtiment incendié est dangereux. Compte tenu de l'état de destruction partielle souvent rencontré dans un bâtiment incendié et de la dégradation qui se poursuit après le feu, le bâtiment doit être considéré par le témoin expert comme étant aussi dangereux qu'un chantier de démolition, sinon plus. Chaque bâtiment incendié est unique de par sa construction, son historique, l'étendue des dommages, etc. Ainsi, le témoin expert doit toujours être vigilant et ce, à chaque inspection afin d'assurer sa propre sécurité.

Tant que le bâtiment n'a pas été inspecté adéquatement puis sécurisé, l'accès au bâtiment est limité par les pompiers ou par le propriétaire, aux personnes ayant une raison valable d'y accéder. Pour sécuriser le bâtiment, des travaux temporaires sont faits pour le stabiliser et le rendre sécuritaire pour le temps de l'intervention. Ainsi, l'enlèvement du contenu doit se faire uniquement une fois le bâtiment sécurisé. Le fait de limiter l'accès au bâtiment brûlé a également l'avantage de préserver la scène de l'incendie pour les pompiers-enquêteurs et les témoins experts en détermination d'origines et causes d'incendies.

1.6.2 Collaboration du propriétaire et des pompiers

Avant de procéder à la vérification du bâtiment, le témoin expert doit s'assurer d'avoir l'autorisation du propriétaire pour accéder à la scène d'incendie. Dans certains cas, le témoin expert peut être mandaté pour s'assurer que la sécurité des intervenants (point 1.1) qui auront à y pénétrer ne sera pas compromise. Pour ce faire, la collaboration des pompiers est nécessaire car ils vont quitter la scène de l'incendie une fois qu'il n'y a plus de combustion et que tout danger imminent de feu ou d'effondrement est écarté. Après quoi, les pompiers retournent généralement la garde du bâtiment à son propriétaire.

Dans certaines circonstances, lorsqu'il y a des dangers reliés à l'accès au bâtiment pour les gens qui travailleront à sa reconstruction, les inspecteurs de la CSST ou de la municipalité peuvent émettre des conditions. Ce sont généralement des actions correctrices, telles que l'installation de barricades dans les ouvertures et l'évacuation de certains produits toxiques. Une fois les conditions remplies, la scène devient accessible.

Souvent, dans un contexte légal d'expertise, une bonne collaboration du propriétaire accélère les démarches, particulièrement dans le cas d'essais ou examens qui nécessitent la destruction ou la démolition d'éléments qui n'auraient pas été affectés par l'incendie (point 3.3). Une bonne collaboration du propriétaire consiste non seulement à donner promptement l'accès au bâtiment mais aussi à divulguer des informations telles que l'âge du bâtiment, les dernières rénovations, les plans et devis du bâtiment et à répondre aux questions du témoin expert.

1.6.3 Vérification de la présence d'éléments toxiques et de contamination

Après le feu, des émanations de gaz toxiques peuvent être présentes. La ventilation de ces gaz permet de limiter les risques d'intoxication (El-fadel, 2000). En plus des gaz toxiques, d'autres dangers d'intoxication peuvent survenir. Certains éléments contenant des composantes toxiques (biphényles polychlorés ou autres) peuvent se retrouver dans les secteurs endommagés par l'incendie. Par exemple, dans les anciens systèmes de plomberie, de l'isolant à base d'amiante, normalement recouvert, peut avoir été exposé par l'incendie. Également, l'eau qui a été exposée ou en contact avec diverses substances ou gaz toxiques durant le feu doit être adéquatement évacuée.

La municipalité, la RBQ, la CSST ou le propriétaire peut exiger des évaluations par des laboratoires pour établir la contamination présente. Dans ce cas, un chimiste évaluera les démarches nécessaires pour remettre les lieux en état pour l'inspection et pour l'utilisation future du site. Des analyses chimiques peuvent être nécessaires lorsqu'il y a

présence de produits réactifs, corrosifs ou autres. L'évacuation des eaux toxiques est faite par du personnel qualifié ayant les outils nécessaires pour réaliser sécuritairement ce travail. En plus du risque de contamination, de la moisissure peut se développer très rapidement en présence d'eau et infecter des sections du bâtiment qui avaient été épargnées.

Des précautions supplémentaires telles que l'utilisation de masques ou le contrôle de la durée d'exposition doivent être prises avant d'ausculter le bâtiment.

1.6.4 Estimation de l'instabilité imminente et évaluation sommaire des dommages structuraux

Une inspection visuelle rapide permet d'évaluer sommairement les dommages structuraux (Purkiss, 1996), ainsi que l'étendue des dommages attribuables à l'incendie. C'est à ce moment que l'expertise et l'expérience de l'ingénieur en structure sont nécessaires. La sécurité à court terme doit être assurée. Pour ce faire, des travaux de renforcement temporaire, tels que l'étalement de la toiture et des murs peuvent être nécessaires.

Lorsqu'ils sont disponibles, les plans du bâtiment permettent de mieux identifier les principales composantes structurales et de bien comprendre la redistribution des charges lorsque des éléments structuraux sont partiellement détruits par le feu (point 4.1.1). À cet effet, l'ingénieur en structure mandaté par le témoin expert joue un rôle important dans l'évaluation des charges impliquées.

En entrant dans le bâtiment, un premier examen de la structure par le témoin expert doit porter principalement sur les bombements, les déformations excessives, et les éclatements observés sur le béton. Les bombements sont particulièrement néfastes pour des éléments peu flexibles tels que la maçonnerie. Il faut distinguer les déformations

observées par rapport aux déformations déjà présentes dans le bâtiment. Ce point sera repris plus en détails lors de l'analyse des constatations au chapitre 4.

Suite à ces considérations de sécurité sur les lieux de l'incendie, le témoin expert peut maintenant procéder à la caractérisation de l'incendie.

CHAPITRE 2

CARACTÉRISATION DE L'INCENDIE

Une fois que l'accès au bâtiment est possible et que l'inspection visuelle a permis d'établir la stabilité du bâtiment, au moins à courte échéance, on peut procéder à l'examen du bâtiment afin de caractériser l'incendie. La caractérisation de l'incendie consiste à évaluer ses deux paramètres principaux, soit la durée et la température lors du feu (Purkiss, 1996). De plus, la détermination de l'origine de l'incendie peut contribuer à caractériser plus précisément l'incendie et ainsi expliquer la forte destruction que l'on peut retrouver près de l'origine de l'incendie. L'utilisation de feu normalisé complète la caractérisation de l'incendie car elle permet de reproduire en laboratoire le comportement des matériaux face à divers types d'incendies. La modélisation de l'incendie est une démarche théorique qui permet d'établir les durées et températures théoriquement atteintes dans une pièce d'un bâtiment.

2.1 Durée de l'incendie

Pour déterminer le plus précisément possible la durée de l'incendie, diverses sources d'informations sont disponibles. L'heure d'alerte et les ressources mobilisées peuvent donner les premiers indices permettant d'établir les durées minimale et maximale de l'incendie. Ces informations se retrouvent dans les rapports d'incendie. On peut supposer que le délai d'intervention des pompiers, c'est-à-dire le laps de temps entre l'heure d'alerte et l'heure d'arrivée sur les lieux, est inférieur à la durée minimale de l'incendie. Par exemple, si l'heure d'alerte est 06h20 et l'heure d'arrivée est 06h35, l'incendie se consume depuis un minimum de quinze minutes. Dans ce cas, il peut s'agir d'un bâtiment éloigné ce qui expliquerait ce long délai. Inversement, la durée totale des interventions établit la durée maximale. Ainsi, dans l'exemple cité précédemment, si les pompiers ont quitté à 07h13, l'incendie a duré un maximum de 53 minutes, soit moins d'une heure. En complément de ces informations, les déclarations des témoins de l'incendie peuvent corroborer l'ensemble des informations à ce sujet. Par exemple, un

témoin se rappelle avoir entendu et vu les pompiers en se levant vers 07h00 et ne plus les avoir aperçus à son départ pour l'autobus de 08h00. Notons qu'un délai entre le début de l'incendie et l'alerte existe toujours mais est rarement connu et n'a pas d'incidence sur les dommages. Néanmoins, dans des cas d'actes incendiaires ce délai peut être établi précisément par un témoin oculaire.

D'autre part, lorsque les délais d'intervention des pompiers sont importants, le témoin expert doit rencontrer les témoins oculaires pour obtenir de plus amples détails et comprendre les motifs derrière ces délais. Plus les délais sont longs, plus les dommages sont importants. Dans ces situations, les témoins de la scène de l'incendie peuvent avoir filmé ou photographié l'élément destructeur. Il arrive également que les médias se rendent sur la scène de l'incendie et il est alors possible d'obtenir des photographies et des extraits vidéos des lieux en question.

L'examen de la scène d'incendie permettra aussi d'obtenir des indices sur la durée du feu. Ceci permettra de corroborer ou d'infirmer les informations recueillies. On notera aussi l'étendue de l'incendie. Par exemple, si les dommages couvrent la totalité des murs, des planchers et des plafonds, cela indique que le feu a eu le temps de se développer suffisamment pour qu'il y ait embrasement généralisé. On doit aussi examiner attentivement les divers types de matériaux encore présents. On verra au point 3.5.1 comment le bois donne une mesure approximative de la durée du feu.

2.2 Températures atteintes, fusion des matériaux

Le deuxième paramètre qui permet la caractérisation de l'incendie est la température maximale atteinte. Un incendie avec une charge combustible et un apport d'air élevés génère de hautes températures et affecte différemment les matériaux exposés. Également, plus longtemps une composante est exposée à la chaleur, plus elle sera affectée. On verra au chapitre 3, que l'ampleur de cette détérioration varie en fonction des matériaux. La détermination des températures atteintes dans le bâtiment permettra

aussi de statuer sur l'état des matériaux après le feu. On procède à l'évaluation de la détérioration des composantes exposées après le refroidissement complet des matériaux afin de s'assurer que la dégradation est terminée.

La température de fusion des divers thermoplastiques peut servir à déterminer les déplacements des gaz et les zones exposées aux gaz chauds, permettant ainsi de mieux situer l'incendie (NFPA 921, 2001). Le tableau II donne la température de fusion de divers matériaux que l'on retrouve dans les bâtiments. Notons que pour chacun des matériaux génériques mentionnés au tableau II, les températures de fusion réels sont variables. Dans les cas litigieux, il est justifié de déterminer précisément cette température. La meilleure façon est de faire analyser un échantillon prélevé sur les lieux par un laboratoire reconnu.

Tableau II

Températures de fusion
(Adapté de Purkiss, 1996)

Matériau	Utilisation dans le bâtiment	Température de fusion
Polystyrène	Isolant	250 °C
Plomb	Joints de plomberie	300 °C
Vitre	Fenêtres	700-800 °C
Cuivre	Fils électriques	1100 °C

Dans un feu localisé, c'est-à-dire qui se limite à une petite portion du bâtiment, la fusion des matériaux aide à délimiter le secteur du bâtiment ayant été exposé à de hautes températures. Par exemple, la fusion d'un polystyrène indique à cet endroit une température d'environ 250 °C. À l'autre extrême, la fusion du cuivre permet de croire que la température a dépassé 1 100 °C. Un autre indice utile pour déterminer la température atteinte est le degré d'affaissement des ressorts dans le mobilier.

Typiquement, les ressorts s'effondrent complètement et forment un amas de disques plats suite à des températures moyennement élevées (400 °C à 750 °C). On vérifiera donc aussi la déformation des ressorts du mobilier. En dehors des limites du secteur ayant été affecté par le feu localisé, les dommages sont nuls et les éléments structuraux sont intacts.

L'examen des débris et l'analyse de leur position fournissent donc des indices qui permettront d'établir objectivement les températures atteintes à divers endroits dans le bâtiment. Par exemple, un fil électrique de cuivre retrouvé fondu sur une poutre d'acier supportant un plancher. La température de fusion de 1100 °C du cuivre (tableau II) permet d'établir que la poutre a aussi atteint cette température durant le feu.

2.2.1 Brûlis à blanc

Lors d'un incendie, la condensation de la fumée est de diverses teintes de brun. La suie noire se répand partout dans le bâtiment et donc n'aide pas à localiser les dommages causés par le feu.

Les brûlis à blanc sont des phénomènes qui se produisent pendant un incendie lorsque la condensation de la fumée et la suie sont brûlés par les flammes. L'intense chaleur des flammes à cet endroit, blanchi la surface des matériaux. La présence de brûlis à blanc indique des températures élevées et donc une attaque sévère de l'incendie. Le témoin expert doit relever la position des brûlis à blanc et l'état des matériaux à proximité, car ils permettent de mieux établir les températures atteintes.

2.2.2 Cas de bâtiments fortement endommagés

Dans le cas de déformations excessives de la structure ou de destructions très avancées d'éléments structuraux, l'étude des températures atteintes est inutile. En effet, lorsque la destruction est très grande, il n'y a plus de lien direct avec les températures atteintes.

Néanmoins, il est possible que la température soit tellement élevée que même des éléments situés à l'extérieur du bâtiment soient affectés. Ainsi, on s'intéressera aux dommages possibles aux structures avoisinantes du bâtiment incendié. De la même façon, à l'intérieur d'une structure de grandes dimensions, il faut vérifier les dommages aux sections avoisinantes d'un secteur détruit.

2.2.3 Sondes thermiques

Dans le cas d'un incendie de l'enveloppe d'un bâtiment ou lorsque des bâtiments voisins ont été endommagés par l'incendie, les sondes thermiques extérieures utilisées par le système de chauffage et de climatisation du bâtiment peuvent servir à connaître les températures atteintes à la surface du bâtiment. Évidemment, cela suppose que l'enregistrement des données transmises par la sonde s'effectue à distance. Dans l'étude de cas n° 3 présenté au chapitre 5 (point 5.3), la sonde, même déformée par la chaleur, a transmis à un ordinateur de contrôle de chauffage et de climatisation de l'information sur le feu et sur son extinction.

2.3 Origine et cause de l'incendie

Suite à l'incendie d'un bâtiment, divers mandats sont octroyés à des témoins experts, entre autres pour déterminer l'origine et la cause du feu et pour établir la nature et l'étendue des dommages. En ce qui a trait à l'origine et à la cause d'un incendie, une distinction s'impose. L'origine d'un incendie est l'endroit où le feu a débuté, tandis que la cause est ce qui a provoqué l'incendie, par exemple une cigarette oubliée ou un acte de nature intentionnelle. L'expert en origine et cause utilise des méthodes éprouvées pour établir ces deux éléments qui sont intimement liés.

De son côté, l'expert en nature et étendue des dommages peut se servir, dans l'exécution de son mandat, des informations recueillies par l'expert en origine et cause. La nature des dommages est la dégradation que l'on observe, c'est-à-dire si l'élément est cassé, carbonisé, chauffé, déformé ou toute autre forme de dégradation. L'étendue des dommages situe la zone affectée par l'incendie. Alors que la détermination de la cause de l'incendie sert rarement à établir la nature et l'étendue des dommages, l'origine fournit souvent au témoin expert en nature et étendue des dommages des informations utiles, tel qu'expliqué dans ce qui suit.

Selon la NFPA 921 (2001), lorsqu'on cherche l'origine d'un incendie, on étudie la progression des dommages à partir de l'endroit du bâtiment le moins endommagé jusqu'à celui le plus endommagé. Pour ce faire, on peut tracer des diagrammes de vecteurs¹ de la propagation de l'incendie. L'origine de l'incendie ne correspond pas nécessairement à l'endroit le plus endommagé dans le bâtiment. Le contenu de la pièce peut modifier la dégradation observée. Par exemple, un feu dont l'origine est située dans le revêtement extérieur d'un mur peut progresser rapidement vers le toit. Le toit parce qu'il est ventilé pourrait être beaucoup plus endommagé que le mur et ce, bien avant la destruction du mur d'où le feu origine. Un autre exemple souvent cité est un feu dans une pièce où l'on retrouve un baril d'essence. L'essence pourrait causer d'importants dommages aux structures avoisinantes alors que l'origine de l'incendie est ailleurs (NFPA, 1997).

L'auscultation de bâtiments n'est pas uniquement reliée à la détermination des origines de l'incendie. Dans cette perspective, on ne cherche pas tellement à établir l'origine de l'incendie mais à expliquer la nature et l'étendue des dommages les plus importants au bâtiment et à son contenu.

¹ Les diagrammes de vecteurs sont des flèches que l'on trace sur un diagramme des pièces affectées par l'incendie et qui pointent vers l'origine de l'incendie. L'orientation de chacune des flèches est donnée par l'analyse des patrons de carbonisations et des dommages.

2.4 Feu normalisé et feu réel

Pour la protection incendie d'un bâtiment, on doit établir la résistance au feu des assemblages de matériaux de construction. Étant donnée la nature imprévisible et très variable des incendies de bâtiment, il est pratiquement impossible de recréer tous les feux pouvant survenir. On a donc recréé des conditions de dégagement de chaleur qui reflètent les conditions englobant la majorité des cas d'incendie pour ainsi établir des normes : c'est ce que l'on appelle un feu normalisé.

À ce sujet, la norme de l'American Society for Testing and Materials (ASTM), ASTM E119 (2000), *Standard Test Methods for Fire Tests of Building Constructions and Materials* (ci-après appelé E119), donne une courbe de temps-température d'un feu normalisé. La E119 a été publiée en 1918 et est mise à jour presque à tous les ans. Sa dernière modification a été faite en 2000. L'équivalent canadien de cette dernière, la norme CAN/ULC-S101 (1989) *Méthodes d'essai normalisées de résistance au feu des constructions et des matériaux* (ci-après appelé S101) des Laboratoires des assureurs du Canada¹ utilise une courbe de temps-température similaire à la E119.

Le degré de résistance des constructions face à un feu réel ne correspond pas nécessairement aux résultats obtenus lors d'essais normalisés. Selon les conditions, l'intensité de l'incendie variera d'un bâtiment à l'autre alors que le feu théorique recréé par les normes est reproductible et toujours le même. Toutefois, un feu normalisé permet de comparer le degré de résistance aux feux de diverses constructions dans des conditions bien définies d'où son utilité en protection incendie.

La courbe de temps-température de la E119 est utilisée depuis plus de 80 ans. Quoique généralement valide, elle pourrait ne pas bien représenter un feu de matériaux synthétiques. En effet, dans un feu réel plus intense que le feu normalisé, la température

¹ En anglais : Underwriters' Laboratories of Canada (ULC)

du feu est augmentée par l'utilisation de plus en plus fréquente de matériaux modernes hautement combustibles tel que polyuréthane, plastique et vinyle et qui dégagent des fumées toxiques. Ainsi, le laboratoire des assureurs a développé un feu selon une norme plus sévère : UL 1709 (1989) *Rapid Rise Fire Tests of Protection Materials for Structural Steels* qui correspond mieux à cette réalité. La figure 1 montre la courbe temps-température tirée de cette norme et celle extraite de la norme S101. Cette norme est sévère car le feu est plus rapide et plus chaud. La température maximale est atteinte en moins de quatre minutes, ce qui suppose un embrasement généralisé (point 3.2) très rapide. On rencontre cette situation dans des conditions où les produits sont hautement combustibles par exemple dans des usines de produits pétrochimiques où les structures d'acier ne sont pas protégées.

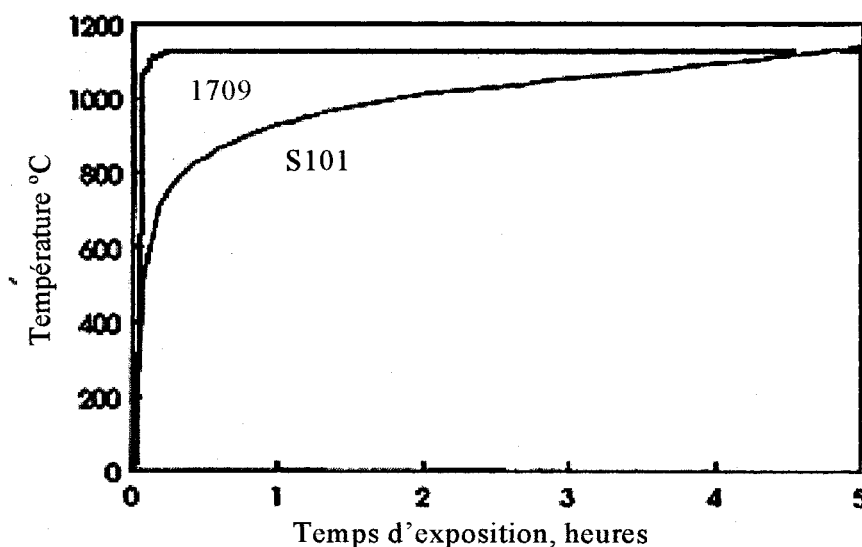


Figure 1 Courbes temps-température normalisées S101 et 1709
(Adapté de CAN/ULC-S101, 1989 et UL 1709, 1989)

2.5 Appareillage pour reproduire un feu normalisé

Les essais pour déterminer la résistance au feu de divers assemblages de planchers, murs et autres éléments d'un bâtiment sont réalisés à l'aide d'appareils qui reproduisent le

dégagement de chaleur selon la courbe temps-température spécifiée dans une norme telle que la S101.

Les résultats obtenus permettent de comparer différents assemblages. La figure 2 montre les résultats d'essais sur un assemblage grandeur nature obtenus à l'aide d'un four à température contrôlée dans les laboratoire de l'Institut de recherche en construction (IRC) à Ottawa. On voit que les températures expérimentales suivent assez bien la courbe normale dans les 50 premières minutes.

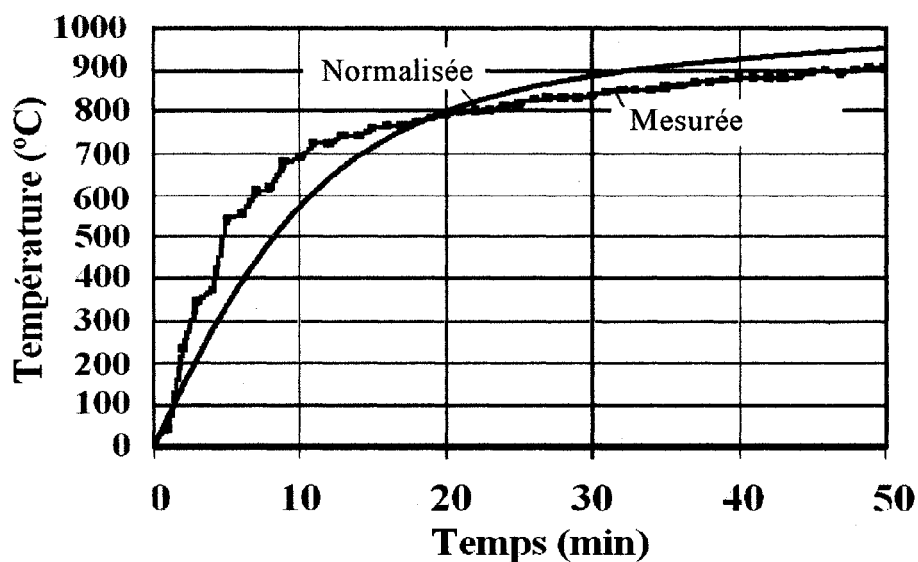


Figure 2 Courbes temps-température normalisées et mesurées du four de l'IRC
(Adapté de Bénichou, 2002)

L'IRC utilise deux types de four pour effectuer des essais normalisé, grandeur nature sur les assemblages : un type pour les surfaces horizontales telles que planchers et plafonds et un autre pour les surfaces verticales telles que murs, cloisons et portes. Nous allons présenter brièvement ces deux types de four dans le but de mieux comprendre la nature des résultats obtenus pour les assemblages mis à l'épreuve.

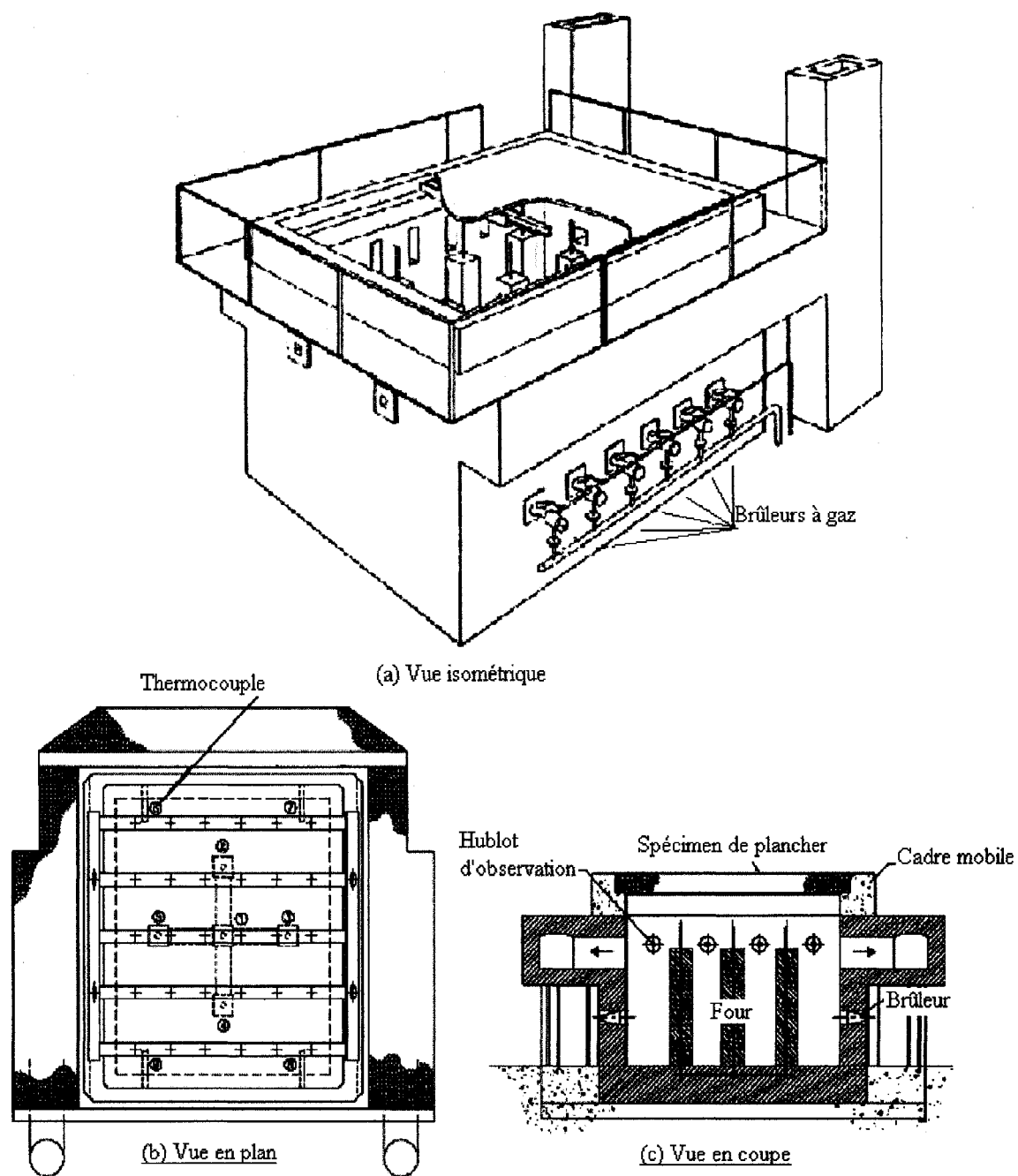
Lors des essais fait par l'IRC, l'attaque par le feu simule un incendie provenant de l'intérieur d'un bâtiment. Ainsi les assemblages verticaux, tels que les murs, sont exposés à la chaleur d'un seul coté à la fois et les assemblages horizontaux par le dessous. L'annexe A du CNB (1995) répertorie des assemblages testés de murs, planchers et plafonds. Les essais par l'IRC se font sur une section d'assemblage qui ne comporte aucune ouverture sauf si explicitement indiqué. On définit le degré de résistance au feu de tous les assemblages en fonction du feu normalisé S101.

La connaissance des principes et méthodes générales des essais de résistance au feu permet de mieux expliquer la défaillance d'un mur ou plancher pendant l'incendie. Elle est nécessaire au témoin expert pour l'auscultation des bâtiments incendiés. Cela peut également permettre d'expliquer ou d'apporter des éléments de réponse de la propagation de l'incendie dans le bâtiment.

2.5.1 Fours horizontaux et verticaux

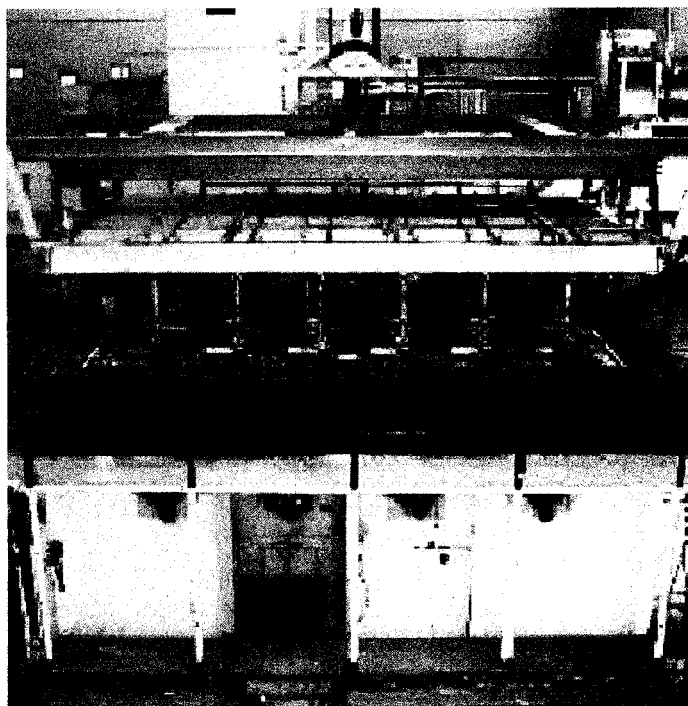
Le feu normalisé, tel que décrit par CAN/ULC-S101 (1989), attaque le dessous d'un plancher et un seul côté d'un mur. Des brûleurs à gaz sont uniformément répartis sur l'ensemble de la surface mise à l'épreuve. Dans un feu réel, cette condition est rencontrée après qu'il y ait eu embrasement généralisé.

Les figures 3 et 4 montrent un four horizontal utilisé par l'IRC pour des assemblages horizontaux, tels qu'un volet coupe-feu, une trappe d'accès au toit ou un plancher. Les illustrations de la figure 4 montrent le four en action. Au-dessus du plancher, on remarque la présence de cellules de chargement (bras en forme d'hélices à trois pales) qui permettent de simuler différentes charges pendant les essais.

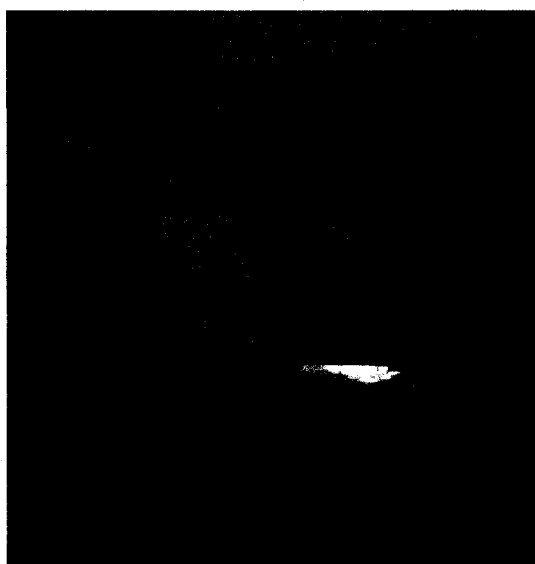


Note: assemblage non montré

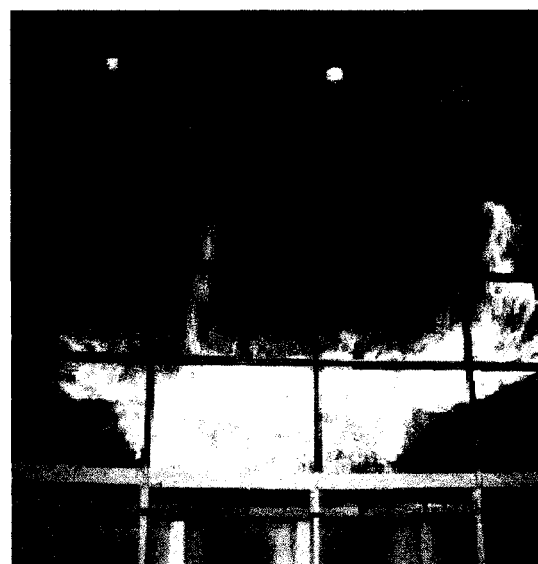
Figure 3 Four horizontal pour les planchers
(Adapté de Gosselin, 1987 et de Bénichou, 2002)



(a) Four d'essai et cellules de chargement (flèche) sur le plancher



(b) Côté non exposé : cellules de chargement (flèche) et flammes traversant le plancher



(c) Côté exposé : échantillon retiré du four après l'essai

Figure 4 Essai de résistance au feu pour un plancher
(Adapté de Bénichou, 2002)

La figure 5 montre une vue en coupe et une vue en élévation d'un four vertical, également utilisé par l'IRC. Il permet de tester des murs, fenêtres et portes. La figure 6 montre un mur avant le début de l'essai. Derrière les carrés gris pâle se trouvent les thermocouples captant la température à la surface du mur pendant le feu.

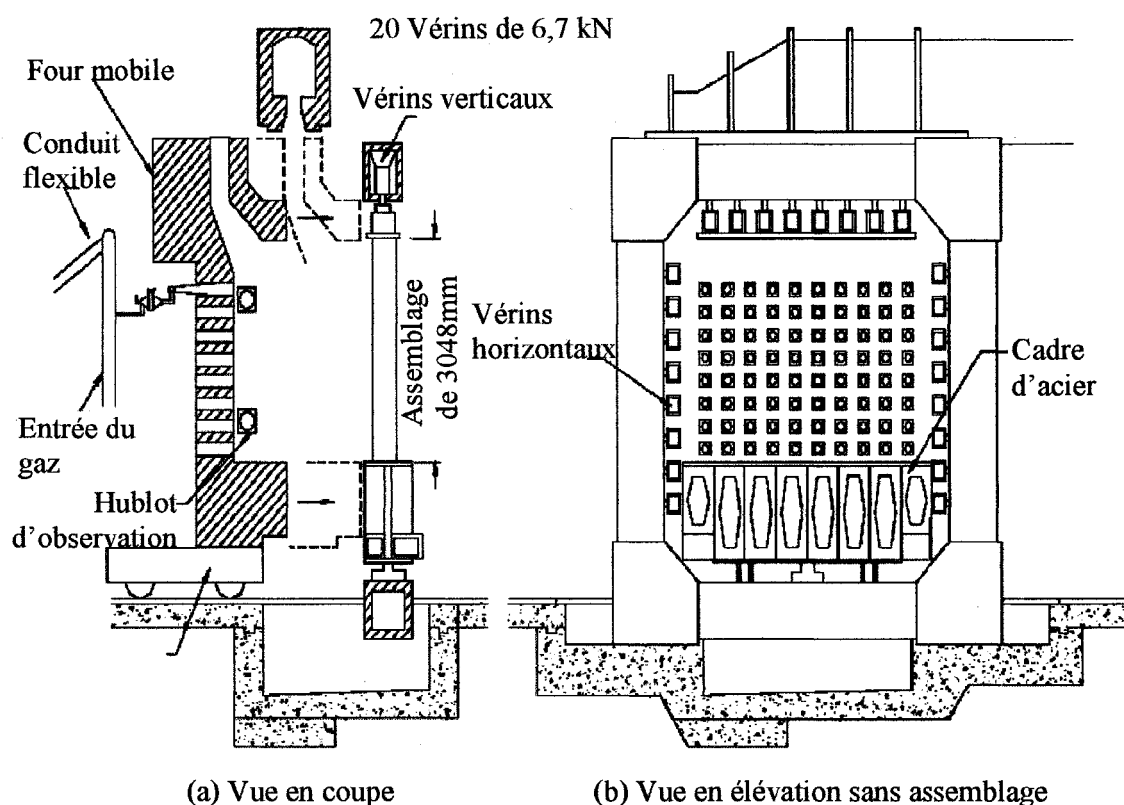
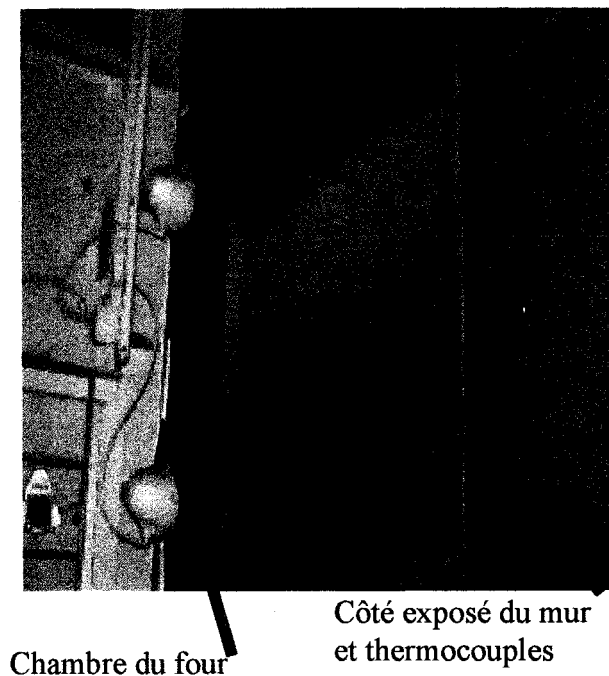


Figure 5 Four vertical pour les murs
(Adapté de Gosselin, 1987)

On peut établir aussi la résistance au feu d'un mur porteur sous charge. Les détails des essais de résistance au feu se retrouvent dans la S101. Les charges verticales et horizontales sur le mur sont appliquées à l'aide de vérins hydrauliques (figure 5).



Notes : - Dimensions du mur : 3,0 mx 3,6 m
 - 80 brûleurs à gaz

Figure 6 Four vertical
 (Adapté de Bénichou, 2002)

2.6 Modélisation de l'incendie

La modélisation de l'incendie consiste à faire une simulation d'incendie en vue d'en étudier les effets. Une fois l'incendie caractérisé et ses effets sur le bâtiment connus, on peut le modéliser, ce qui permet d'analyser d'autres scénarios de pertes, par exemple, pour déterminer l'effet d'une porte coupe-feu manquante. L'informatique nous permet d'obtenir les résultats d'une telle modélisation. Un logiciel utilisé entre autres par la compagnie Pyrotech BEI inc. est FAST¹. Il permet d'établir la propagation de la fumée et de la chaleur dans un bâtiment compartimenté c'est-à-dire la propagation d'une pièce

¹ FAST est l'acronyme pour Fire Growth and Smoke Transport. Ce logiciel est développé par le Building and Fire Research Laboratory du National Institute of Standards and technology (NASI), U.S. Department of Commerce, Gaithersburg, MD, USA

à une autre. La compagnie canadienne NAVWARE Canada inc.¹ commercialise un logiciel de simulation BUILDSMOKE uniquement pour la propagation de la fumée d'incendie dans un bâtiment. À ce jour, les programmes informatiques de modélisation d'incendie sont complexes et ne sont pas suffisamment simples et conviviaux pour être utilisés facilement par les témoins experts. La modélisation requiert une expertise spécialisée tant pour la préparation des données que pour l'interprétation des résultats.

Par la recherche constante en modélisation on vise à améliorer la sécurité des occupants en améliorant l'évaluation des performances incendie du bâtiment. De cette recherche on pourra élaborer des critères de performance incendie pour le bâtiment. Un critère de performance permet d'évaluer les objectifs de sécurité qui doivent être atteints par le bâtiment. Par exemple, la modélisation pourra ainsi démontrer qu'après le début de l'incendie les occupants disposent d'au moins cinq minutes pour sortir de l'aire de plancher du bâtiment ou encore que le feu n'atteindra pas les occupants de l'étage supérieur. Actuellement, les exigences de sécurité incendie sont basées sur des résistances prescrites pour l'intérieur du bâtiment, c'est-à-dire que les assemblages de construction doivent résister pendant un temps prescrit à un feu provenant de l'espace habitable du bâtiment. Par exemple, on exige la présence de murs coupe-feu dont l'assemblage a une résistance au feu de deux heures. Cette exigence a été établie suite à des essais faits sur des assemblages mis à l'épreuve dans un laboratoire face à une source de chaleur contrôlée (point 2.4).

L'étude de Lin et Mehaffey (1997) porte sur la modélisation d'un feu dans une pièce faite de montants de bois recouverts de panneaux de gypse de 12,7 mm d'épaisseur et de « type X » résistant au feu. L'article donne des références pour les équations de modélisation du feu et des courbes temps - température. Ces équations et courbes temps - température pourraient servir à l'élaboration de divers scénarios de propagation et refléter les observations faites sur les lieux.

¹ Voir le site internet <http://www.navware.com/pages/building.html>.

À l'aide d'essais expérimentaux, Franssen et al. (1998) ont validé des équations pour évaluer la stabilité de poteaux en acier soumis à des températures élevées. Ces recherches ont permis de démontrer que, lorsque les paramètres des équations sont validés correctement, les équations donnent de bons résultats. Bref, les déformations causées par un incendie sont modélisables mais doivent être validées par l'expérimentation. Cette méthode pourrait être utile pour faire des études comparatives afin de justifier le remplacement ou la réutilisation de certains éléments ou secteurs endommagés. Elle est prometteuse mais pas d'usage courant pour le témoin expert.

La modélisation d'un incendie permettra une plus grande flexibilité aux concepteurs de bâtiments. Dans le cas de bâtiments non-conventionnels, ces derniers peuvent difficilement satisfaire les exigences prescrites par les codes actuels sans augmenter significativement les coûts de construction. Présentement les codes prescrivent aux concepteurs des types de construction et des dimensions de bâtiments. Bientôt, les recherches en modélisation permettront d'établir des exigences de construction moins onéreuses répondant aux critères actuels de sécurité incendie.

Les critères de performance qui sont en développement peuvent apporter des difficultés supplémentaires à la vérification des bâtiments incendiés. En effet, une fois le bâtiment détruit, même partiellement, les données théoriques ayant servi à déterminer sa conformité à des critères de performance pourraient être difficilement vérifiables. Un critère de performance, par exemple sortir du bâtiment en cinq minutes, s'évalue difficilement après l'incendie. Aujourd'hui, l'examen des vestiges de l'assemblage permet d'en déterminer sa composition et d'établir sa résistance au feu. Cette résistance au feu est basée sur les essais exigés par les normes de sécurité incendie en vigueur au moment de la construction ou modification du bâtiment. Lors d'une inspection après un incendie, les exigences prescrites actuelles sont donc plus facilement quantifiables et mesurables que des critères de performance.

Malgré cette dernière considération, la modélisation permettra de réduire les coûts associés aux exigences de sécurité des bâtiments en considérant le bâtiment et son contenu dans son ensemble.

CHAPITRE 3

ÉTUDE DE LA RÉACTION DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION LORS DE L'INCENDIE

Après avoir caractérisé l'incendie en évaluant les deux paramètres principaux de l'incendie, soit la durée et les températures atteintes, le témoin expert continue l'auscultation par l'évaluation des dommages aux matériaux découlant de l'incendie. Dans ce chapitre on présente les effets du feu et de l'eau du combat incendie sur les composantes du bâtiment.

Dans les lignes directrices de la norme ASCE 11-90 (1990) de l'American Society of Civil Engineers (ASCE) se trouve une méthode itérative pour l'auscultation de bâtiments existants non incendiés. Cette méthode est facilement adaptable à l'auscultation de bâtiments incendiés. Nous traiterons aussi de la réaction des matériaux de construction lors d'un embrasement généralisé, d'essais destructifs, des divers types de dommages que l'on retrouve dans le bâtiment suite à l'incendie. Ainsi, nous aborderons un à un les effets de la température sur les principaux matériaux que l'on retrouve dans la structure des bâtiments soit l'acier, le bois, le béton et la maçonnerie.

3.1 Lignes directrices de l'ASCE 11-90

La norme ASCE 11-90 (1990) propose les lignes directrices d'une méthode pour évaluer la structure des bâtiments existants non incendiés qui sont construits avec du béton armé, de l'acier, de la maçonnerie ou du bois. On donne plusieurs définitions et références à des normes d'essais de l'ASTM et autres références utiles lors d'essais ou analyses.

La réhabilitation ou le changement d'usage du bâtiment amène le propriétaire à évaluer l'état. La méthode proposée est itérative. Une évaluation préliminaire du bâtiment est faite. Elle comprend quatre étapes :

- a. la revue des documents disponibles sur les composantes et matériaux du bâtiment ;
- b. l'inspection des lieux qui permet de confirmer les informations obtenues et de déceler les défaillances et faiblesses des matériaux ;
- c. l'analyse préliminaire des codes ;
- d. l'élaboration de commentaires et de recommandations préliminaires.

L'évaluation détaillée reprend les mêmes étapes mais se limite aux points qui doivent être éclaircis suite à l'évaluation préliminaire. Ces étapes sont reprises tant que les coûts des évaluations subséquentes sont moindres que les économies liées aux coûts de reconstruction envisagés.

3.2 Embrasement généralisé

Tout d'abord, il faut clarifier ce qu'est l'embrasement généralisé (flashover). C'est le moment à partir duquel toutes les surfaces d'un espace du bâtiment s'enflamment en même temps. L'embrasement généralisé est un point tournant important d'un incendie. Lors de l'auscultation d'un bâtiment incendié, il faut identifier les endroits où il y a eu embrasement généralisé car, dans ces endroits on peut retrouver d'importantes dégradations du bâtiment par carbonisation et chaleur excessive.

Les principales étapes du processus qui mène à l'embrasement généralisé se résument comme suit. À 480 °C, la température des gaz au plafond monte et cause plus de radiations (rayonnement sur la figure 7). À 590 °C, les gaz de pyrolyse c'est-à-dire de la décomposition chimique des éléments par la chaleur, s'allument lorsqu'ils entrent en contact avec les gaz chauds au plafond ; c'est l'embrasement généralisé (figure 8). À cette température, la combustion des premiers articles incendiés s'étend à tous les autres (NFPA, 2001).

Les photographies 1 et 2 montrent un exemple d'une pièce où il y a eu un embrasement généralisé. On constate que c'est tout l'intérieur de la pièce qui a été fortement exposé à la chaleur du feu. Toutes les surfaces sont carbonisées. La carbonisation est telle que plusieurs sections du plafond, des murs et du plancher ont l'aspect d'une peau de crocodile. Ici, les poutres supportant le plafond sont profondément carbonisées, ce qui indique que le feu a brûlé pendant une longue période (point 3.5.1).

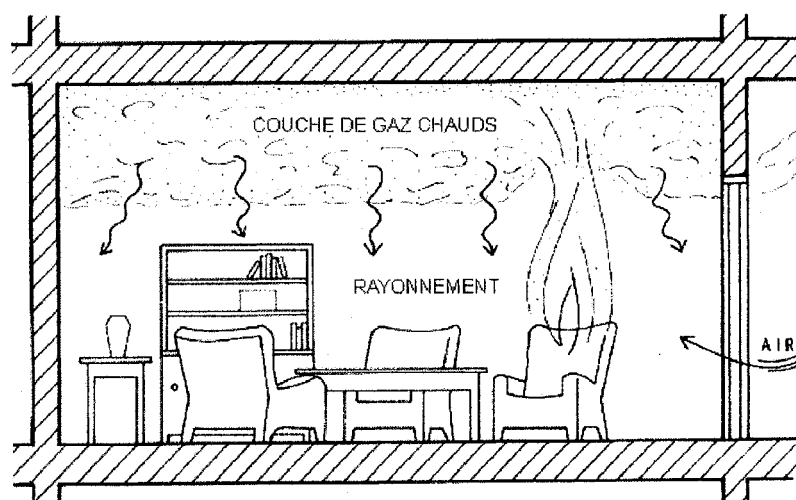


Figure 7 Feu dans une pièce
(Adapté de Mehaffey, 1987)

Lors de l'embrasement généralisé, ce sont les surfaces des éléments et non leur centre qui atteignent la température critique. Selon la durée de l'embrasement, la transmission de la chaleur peut affecter la surface de l'assemblage sans avoir le temps d'en atteindre le centre. En effet, certaines parties du bâtiment peuvent avoir été arrosées pendant le combat incendie pour limiter leur dégradation. Certains éléments peuvent ainsi être épargnés malgré un embrasement généralisé.

La réaction des matériaux de construction varie beaucoup selon le type de combustible, les diverses conditions ainsi que la durée de l'exposition à l'embrasement. Ainsi, il devient nécessaire de tenter d'établir la durée de l'exposition à la chaleur des divers assemblages pendant l'embrasement.

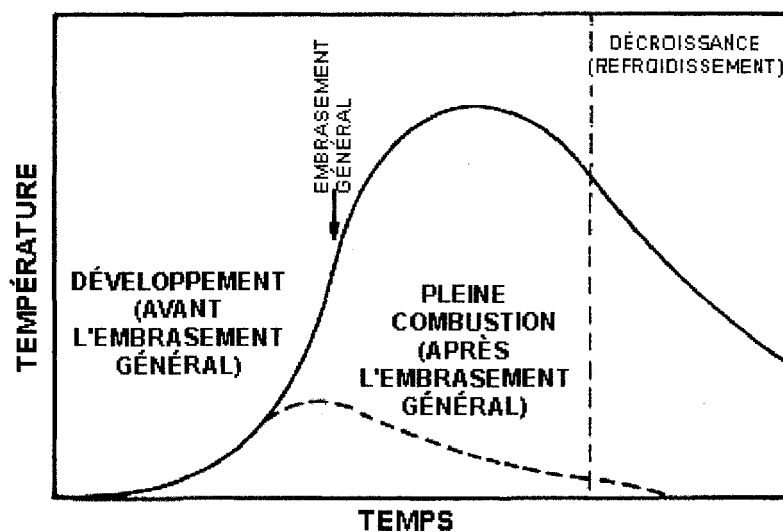


Figure 8 Courbe d'embrasement généralisé
(Adapté de Mehaffey, 1987)



Photographie 1 Embrasement généralisé, vue n°1
(Adapté de Pyrotech BEI inc., ----a)



Photographie 2 Embrasement généralisé, vue n°2
(Adapté de Pyrotech BEI inc., ----a)

3.3 Essais destructifs

Les essais destructifs, justifiés par des raisons techniques, sont souvent jugés inacceptables pour des raisons d'esthétique. Par exemple, pour établir l'état d'un mur de béton dans une résidence de prestige, un carottage de ce dernier serait justifié. Toutefois, si le mur est recouvert de tuiles de marbre importées, uniques et irremplaçables, le coût du remplacement du revêtement du mur pourrait excéder celui des travaux de réparation. Dans cette situation, les essais destructifs ne seraient pas effectués car, même si les résultats étaient favorables, le mur ne pourrait être réparé et devra être remplacé sans égard à son état.

3.4 Acier

L'acier résiste mal à la chaleur intense lors d'un incendie (Thor, 1973). Dans les bâtiments de construction incombustible, on recouvre l'acier d'un matériau isolant ignifuge pour le protéger en cas d'incendie. Le matériau isolant ignifuge peut être une

mousse de fibres ignifugeante giclée, une couche de béton ou autre. Au point de vue structural, on considère que l'acier devient dangereux lorsqu'il est trop chaud, c'est-à-dire qu'il dépasse sa température critique. On définit la température critique comme étant la température à laquelle le métal n'a plus que 60% de sa résistance initiale. Les courbes sur les figures 9, 10 et 11 montrent l'évolution de la résistance d'un acier de construction en fonction de sa température.

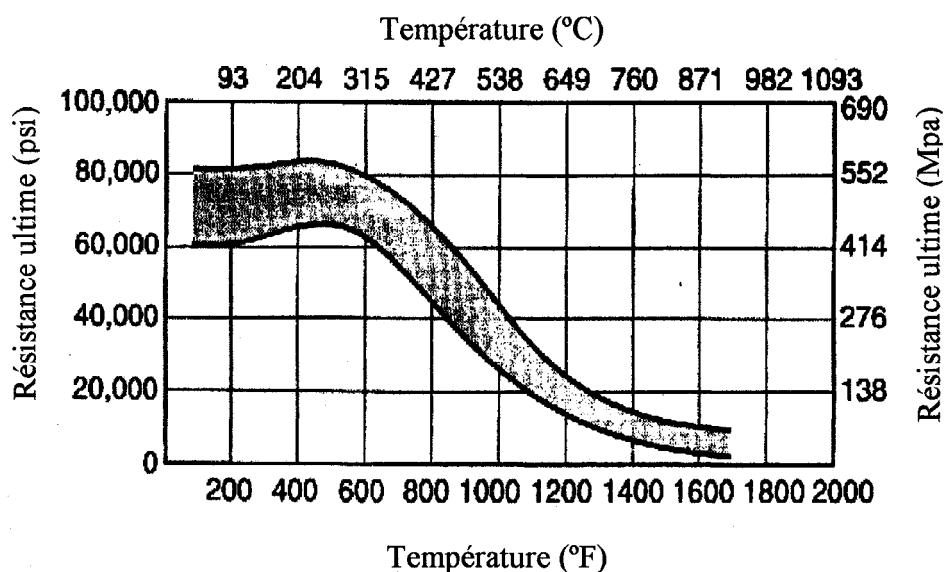


Figure 9 Courbes de chaleur/perte pour les aciers A7 et A37
(Adapté de NFPA, 1997)

Sur la figure 9, la bande donne la performance d'une variété d'aciers structuraux à des températures élevées. La température est celle de l'acier et non de la température ambiante de l'air pendant l'incendie. Les performances réelles de l'acier dépendent de la forme, des dimensions et du type d'assemblage exposé aux conditions d'incendie (NFPA, 1997). La figure 10 montre l'effet de la température sur la résistance d'un acier de construction (Brannigan, 2001). La figure 11 est pour l'aluminium. On constate ainsi que l'aluminium résiste moins bien à la chaleur que l'acier.

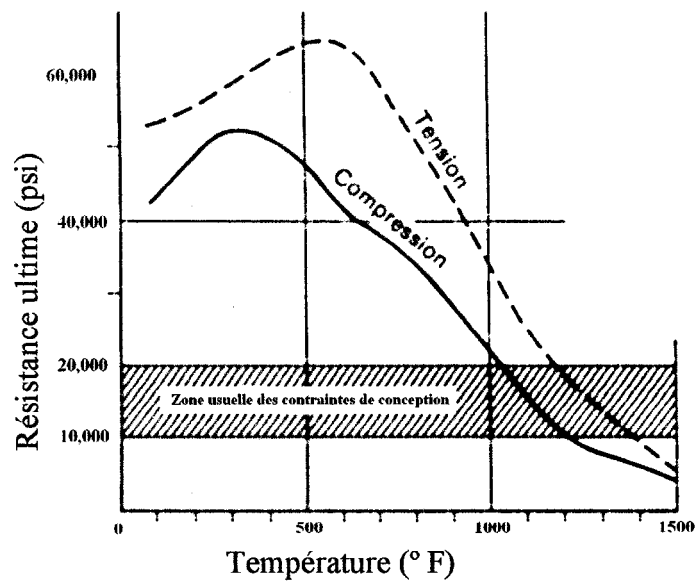


Figure 10 Courbes pour un acier de construction
(Adapté de Brannigan, 2001)

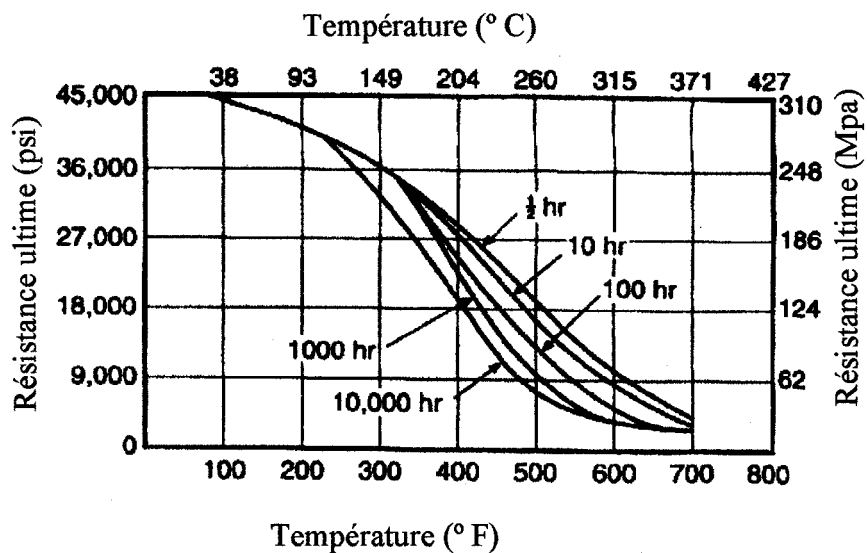


Figure 11 Courbes de chaleur/perte pour l'aluminium 6061-T6
(Adapté de NFPA, 1997)

Le tableau III donne les températures critiques de quelques métaux utilisés dans la construction des bâtiments.

Tableau III

Températures critiques de quelques métaux utilisés
dans la construction des bâtiments
(Adapté de Gosselin, 1987)

Métal	Température critique
Acier de charpente	593 °C
Fer forgé	500 °C ¹
Fonte	600 °C ²
Câble de précontrainte	427 °C
Acier d'armature ordinaire	538 °C

Notes : ¹ Environ

² La résistance diminue de 50% à cette température

Le tableau IV fournit la température maximale suggérée pour quelques aciers, basée sur la rupture en service continue, c'est-à-dire après 10 000 heures (environ 1 an) d'exposition à cette température (CISC, 1997). La sensibilité à la chaleur des aciers varie selon leur type. Le tableau IV donne l'ordre de grandeur des températures requises pour que les propriétés de ces métaux changent significativement.

Afin de vérifier précisément l'état de l'acier, on procède à l'échantillonnage d'une section de l'élément endommagé. En laboratoire, le métallurgiste pourra déterminer les caractéristiques résiduelles de l'acier et déterminer ainsi le niveau de détérioration. Les résultats obtenus du métallurgiste serviront à déterminer si l'acier a été affecté négativement par l'incendie et à quel degré, en vue d'une possible réutilisation ou réparation. Sur place après l'incendie, divers essais de dureté peuvent aussi être faits par ce dernier.

Soulignons qu'il existe diverses méthodes de réhabilitation de composants en acier, appelées recuits, qui consistent à les exposer à des températures élevées. L'acier chauffé par l'incendie n'a plus les mêmes propriétés. Malgré qu'il soit possible que la chaleur

améliore les propriétés de l'acier, l'absence d'uniformité et d'information sur la pièce affectée peut justifier son remplacement. Toute variation excessive des propriétés est indésirable et demande des vérifications.

Tableau IV

Températures maximales suggérées pour divers aciers
(CISC, 1997)

Acier	Température
Acier au Carbone	540 °C
Acier C-0.5Mo	595 °C
Acier 2.25Cr-1Mo	650 °C
Acier inoxydable, type 304	815 °C
Alliage C-276 à base d'argent	1040 °C

Selon l'époque de la construction d'un bâtiment, le témoin expert peut retrouver plusieurs métaux dans la charpente. Le tableau V donne quelques dates d'utilisation de la fonte, du fer forgé et de l'acier dans les bâtiments. Les structures en fonte, construites avant 1914, sont sujettes à des fissurations causées par les chocs thermiques lors du refroidissement de l'eau projetée lors du combat incendie sur les pièces surchauffées par l'incendie. Il faut faire un examen détaillé des pièces de fonte exposées aux chocs thermiques et des fissures pouvant en résulter.

3.4.1 Structure d'acier avant l'incendie

Il arrive que la structure d'acier soit déjà endommagée avant l'incendie. Lorsque cela est possible, on doit faire la différence entre les dommages préexistants et ceux découlant de l'incendie. Ainsi, une pièce métallique déformée, retrouvée à un endroit éloigné de l'incendie, doit être clairement identifiée comme n'étant pas reliée à l'incendie. Dans

Tableau V

Dates d'utilisation de la fonte, du fer forgé et de l'acier dans les bâtiments
(Adapté de AISC, 1953)

Date	Fonte	Fer forgé	Acier
1792	Début	Début	Début
1840			
1887			
1914	Fin	Fin	

certains cas, on doit chercher la cause des déformations ou au moins tenter d'éliminer l'incendie comme cause. On pourrait, par exemple, rechercher des indices de dommages mécaniques tels que des marques laissées par de la machinerie, la présence de dépôts de saletés recouverts de suie, de poussières dans les bris observés, etc. La chronologie des dommages sera connue et objectivement vérifiée par le témoin expert.

3.4.2 Déformations de la pièce refroidie

Les déformations de la pièce refroidie sont également problématiques. Essentiellement dès que la pièce se déforme au-delà des tolérances permises lors de sa construction, la pièce est considérée affectée et doit être évaluée ou remplacée. Dans un premier temps, le témoin expert portera son attention sur les poutres qui sont le plus détériorées, c'est-à-dire celles dont les déformations sont observables à l'œil nu. Si les déformations du métal sont faibles, on peut le réutiliser. Toutefois, les déformations causent de l'asymétrie et des excentricités qui peuvent être inacceptables du point de vue structural.

Lors d'un incendie, il est probable que certains composants structuraux en acier qui n'étaient pas sollicités à leur pleine capacité ne se déforment pas significativement et

puissent être réutilisables. Ainsi, la perte de résistance causée par l'augmentation de la température lors de l'incendie ne cause pas nécessairement sa ruine. Par exemple, si le feu se produit lorsque la toiture à ossature métallique est libre de neige et de glace, les fermes de toit n'ont pratiquement que des charges permanentes à supporter. Dans cette situation, le toit pourrait donc résister à des chaleurs plus élevées avant de se déformer. Toutefois, au-delà d'une certaine température, la baisse du module d'élasticité est telle que la charpente ne sera même plus capable de supporter son propre poids.

Finalement, on doit porter une attention particulière à la dilatation par la chaleur de longues pièces d'acier. Le métal en se dilatant peut endommager des éléments structuraux même situés loin du feu (point 4.1.2, figure 17).

3.4.3 Oxydation

L'acier galvanisé exposé à une chaleur faible blanchit (NFPA, 1997). Ce changement résulte de l'oxydation du zinc en surface. L'acier n'est alors plus protégé et rouille lorsqu'il est mouillé. Par l'observation des traces de rouille le témoin expert détermine l'exposition relative de l'acier galvanisé à la chaleur.

Lorsqu'il est non protégé, l'acier exposé à la chaleur devient bleu-gris mat. Par contre, pour les fils ou les toitures de cuivre, la couleur n'est pas significative. En fait, ce sont les variations de couleur laissées par l'oxydation sur les matériaux qui permettent de suivre la progression du feu.

3.4.4 Acier et température d'embrasement généralisé

Lors d'examens de scènes d'incendies, on constate une concordance entre la température de perte de capacité de l'acier et l'état d'embrasement généralisé. En effet, comme nous avons vu au point 3.2, il y a embrasement généralisé lorsque les surfaces à l'intérieur

d'un espace dans un bâtiment atteignent 590 °C. Or, presque à la même température, soit 593 °C, l'acier de construction perd plus de 60% de sa résistance. En conséquence, lorsqu'il y a eu embrasement généralisé pendant l'incendie, il est probable que l'acier ait été détérioré.

3.4.5 Étude sur l'acier résistant au feu

Wei (1998) présente une analyse théorique des données sur le comportement au feu de trois types de planchers :

- a) Slimflor¹ ;
- b) Slimdek ;
- c) conventionnel avec poutre en I protégée.

Les planchers Slimflor et Slimdek utilisent des aciers résistants au feu et sont plus minces que le plancher conventionnel (figures 12 et 13). La composition des aciers résistants au feu résulte d'un procédé complexe qui inclut différents traitements sur les lingots d'acier avant qu'ils ne soient mis en forme.

Le plancher conventionnel, couramment utilisé en construction, est constitué d'une dalle de béton mise en place sur un pontage métallique. La dalle est supportée par des poutres en I protégées, c'est-à-dire qu'elles sont recouvertes d'un matériau résistant à la chaleur.

L'article conclut que l'acier résistant au feu des planchers Slimflor et Slimdek améliore peu les résultats et n'augmente pas beaucoup la résistance au feu des planchers.

¹ Slimflor et Slimdek sont des marques déposées d'assemblages de planchers.

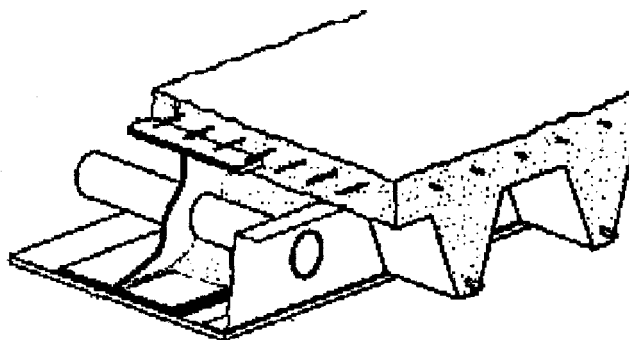


Figure 12 Plancher Slimflor
(Adapté de Wei, 1998)

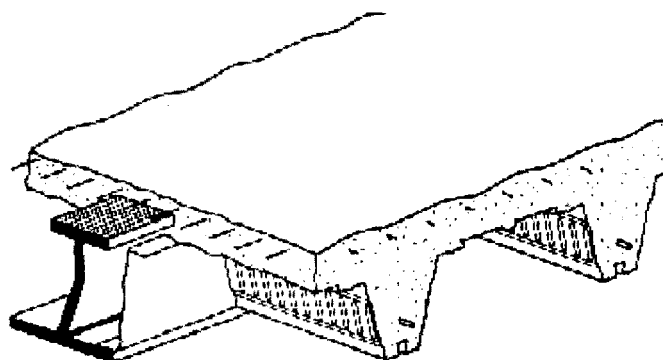


Figure 13 Plancher Slimdek
(Adapté de Wei, 1998)

3.5 Bois

Le bois protège dans une certaine mesure les éléments qui se retrouvent derrière lui car le bois ne transmet pratiquement pas la chaleur (point 3.5.1). Néanmoins, le bois est combustible et alimente l'incendie. Il contribue même à la propagation de l'incendie car la flamme circule bien sa surface. Pour la propagation de l'incendie, on cherchera premièrement à identifier le type de bois utilisé afin d'établir l'indice de propagation de la flamme (IPF). Deuxièmement, la profondeur de carbonisation du bois permet d'établir approximativement la durée de l'incendie. Une attention particulière doit être portée au

bois qui n'était pas sain avant l'incendie et, dans la mesure du possible, le témoin expert doit évaluer cette condition préexistante.

L'IPF est une mesure de la vitesse à laquelle la flamme se propage sur un matériau. Il varie selon le type et l'essence de bois utilisé. Mehaffey (1987) donne la définition suivante de l'IPF :

« Les méthodes de calcul sont conçues de manière à ce que l'IPF d'un panneau de matières inorganiques incombustibles soit égal à zéro et celui d'un panneau de chêne rouge à cent. Les indices de tous les autres produits sont déterminés en fonction de ces deux valeurs. »

Les valeurs de l'IPF sont obtenues en effectuant des essais dans un appareil connu sous le nom de tunnel de Steiner. Ces essais ont été développés par A. J. Steiner du Underwriters Laboratories Inc. (NFPA, 1997). Les normes CAN/ULC-S102, (1988 R2000) *Surface Burning Characteristics of Building Materials and Assemblies* et UL 723 (1989) *Test Method for Fire Hazard Classification of Building Materials* utilisent ce type d'appareil. La figure 14 montre une photographie d'un de ces tunnels.

Le tunnel de 7,62 mètres de Steiner est également utilisé par les normes ASTM E84 (2001) *Standard Test Method for Surface Burning Characteristics of Building Materials* et NFPA 255 (2000) *Standard Method of Test of Surface Burning Characteristics of Building Materials*.

En général, les bois de construction ont un IPF d'environ 300 ; les plastiques excèdent généralement 500, donc ils brûlent cinq fois plus vite que le chêne rouge. L'amiante et autres matériaux incombustibles ont un IPF de 0. Dans le CNB, à la section intitulée *Propriétés des matériaux*, on retrouve les IPF de plusieurs assemblages et matériaux (CNB, 1995). Les exigences de protection incendie du CNB tiennent compte de l'IPF des matériaux. Par exemple, le CNB prescrit les dimensions maximales pour les vides techniques en fonction de l'IPF des matériaux exposés dans ces espaces.

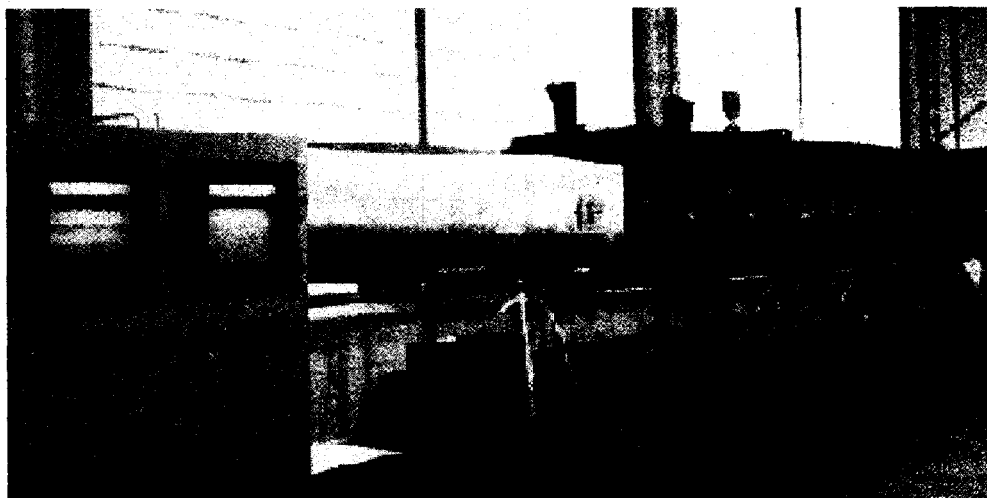


Figure 14 Appareil d'essais en tunnel
(Adapté de Mehaffey 1987)

3.5.1 Carbonisation du bois et durée de l'incendie

La carbonisation du bois est une excellente barrière thermique. De ce fait, l'avancement en profondeur de la carbonisation est relativement constant lors de l'incendie. La carbonisation du bois permet donc d'évaluer la durée de l'incendie par la mesure de sa profondeur. Dans le manuel du NFPA (1997) et la norme NFPA 921 (2001), on considère que la vitesse d'avancement moyen de la carbonisation observée sur les scènes d'incendie est d'environ 25 mm à l'heure. Ainsi, une pièce de bois carbonisée sur une profondeur de 20 mm indique que le feu a brûlé durant environ 45 minutes à l'endroit où la pièce de bois se trouve.

Notons que la vitesse de la carbonisation du bois est influencée entre autres par sa densité et sa teneur en eau. Un bois dense se consumera plus lentement qu'un bois mou. Plus la teneur en eau du bois est élevée plus il se consumera lentement. Dans un bois saturé d'eau, c'est-à-dire avec une teneur en eau de 100%, l'eau doit s'évaporer avant que débute la combustion. L'âge du bois ne change pas la vitesse de carbonisation ; c'est

l'humidité contenue dans le bois qui le rend plus ou moins combustible. Ainsi, une pièce de bois neuve séchée au four brûle autant qu'une vieille pièce, si les deux ont été exposées à des conditions atmosphériques identiques, rendant leur taux d'humidité identique.

Toutefois, de nombreux autres facteurs comme les conditions d'incendies, c'est-à-dire les températures atteintes, l'oxygène disponible dans l'air, la position du bois par rapport aux autres éléments dans le bâtiment, influencent la vitesse de carbonisation.

Les conclusions doivent donc être tirées à la lumière de l'ensemble des informations au dossier. À elle seule, la profondeur de carbonisation ne peut pas donner une estimation adéquate de la durée du feu (NFPA 921, 2001). Un feu qui couve dans une structure de bois, peut carboniser profondément une solive mais cela ne signifie pas que le feu a attaqué le reste de la maison pendant la durée de temps donnée par la profondeur de la carbonisation à cet endroit. La profondeur de carbonisation peut corroborer, tout au plus, les autres informations obtenues.

3.5.2 Noircissement du bois par pourriture ou fausse carbonisation

Certaines sections d'anciennes structures de bois peuvent avoir subi des dommages avant l'incendie. Le bois exposé à des conditions d'humidité excessive pendant une longue période est propice à la formation de moisissures. Sans élaborer davantage sur les divers types de spores et de champignons, on reconnaîtra la présence de certains spores de moisissure noire ou de couleur très foncée. Dans certains cas, le bois attaqué par la moisissure a l'apparence d'un bois carbonisé par l'incendie ; c'est ce qu'on appelle la fausse carbonisation du bois. Généralement, cette fausse carbonisation se retrouve dans des endroits faiblement endommagés par le feu, en présence d'éléments beaucoup plus fragiles à la chaleur, tels que des éléments de finition ou le carton des panneaux de plaque de gypse.

3.5.3 Évaluation des dommages à une ossature de bois

Forsberg (1996) présente une étude portant sur l'évaluation de dommages aux toits de six bâtiments construits vers 1940 ayant une structure en gros bois d'œuvre. Une charge excessive avait endommagé les goussets et les membrures des fermes de toit. Une section d'un des toits plats s'était même effondrée. Les réparations ont été effectuées par injection d'époxy dans le bois endommagé. L'auteur a procédé à des essais de chargement afin d'évaluer la résistance des goussets et des membrures des fermes de toit qui avaient été réparées. Pour charger les fermes réparées, de grandes toiles installées sur le toit ont permis de créer de grands bassins temporaires qui pouvaient être graduellement remplis d'eau. Le fait de remplir lentement les bassins permettait de suivre les déformations de la structure et d'arrêter le chargement en cas de défaillance. En cas d'urgence, des portes d'évacuation avaient été aménagées au pourtour des bassins.

Cette méthode a été efficace pour charger la structure, malheureusement les réparations faites par injections d'époxy se sont révélées insatisfaisantes. Ces essais, quoique difficiles à réaliser à cause de la mise en place de bassins d'eau, fournissent une méthode qui pourrait être utilisée pour évaluer une structure endommagée par un feu.

3.6 Béton

Le béton est un matériau réfractaire à la chaleur, sans être spécifiquement conçu pour être exposé au feu. Le ciment Portland est le plus souvent utilisé, mélangé avec l'eau, comme pâte liant les granulats pour former le béton. Il est constitué en grande partie de silicates de calcium hydraulique (poudre de clinker) auxquels on ajoute du sulfate de calcium (gypse). Il existe aussi du béton spécial à haute résistance à la chaleur servant à la fabrication de fours à hautes températures.

Les performances et l'aspect visuel du béton sont affectés par la température (Goalwin, 1952). Avec l'augmentation de la température, la pâte de ciment a tendance à rétrécir par déshydratation alors que les granulats du béton se dilatent ce qui cause des contraintes dans le béton (CPCA, 1995). Selon Pigeon (1999), environ 70% de tout le ciment Portland utilisé au Canada est de type normal. Le tableau VI résume l'effet de la température sur les deux principaux types de granulats utilisés en construction pour faire le béton, soit les granulats calcaires et les granulats siliceux.

Plus les granulats utilisés ont un coefficient de dilatation élevé, plus le béton sera sensible à la chaleur. Compte tenu de leurs propriétés thermiques, les granulats calcaires ont une plus grande stabilité dimensionnelle que les siliceux. À titre comparatif, pour des granulats de même provenance, afin de limiter les variations que cela pourrait occasionner, le coefficient d'expansion thermique d'un calcaire est de $6,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ et pour un quartz de $11,9 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. L'annexe D du CNB (1995) reconnaît ce fait en soulignant la distinction entre les bétons de type S et N. Le CNB définit un béton de type S comme incorporant de gros granulats siliceux de granite, quartzite, gravier siliceux ou autres matériaux denses contenant au moins 30 % de quartz, de chert ou de silex, alors que le béton de type N incorpore de gros granulats de type calcaire avec au plus 30 % de quartz, de chert ou de silex. Les bétons de type N sont donc plus résistants au feu que ceux de type S.

Une variation de la couleur du béton indique que ses propriétés sont réduites (tableau VI). À la limite, le béton est tellement faible qu'il devient friable. En pratique, il est rare que la surface du béton reste propre. On vérifie donc en premier lieu la friabilité de la surface en la comparant à une surface que l'on sait non affectée. Deuxièmement, on pourra vérifier la couleur du béton et les pertes moins significatives après les travaux de nettoyage du béton.

Toutefois, ce n'est pas tant les propriétés et qualités intrinsèques du béton qui doivent être connues mais en premier lieu si les éléments de béton ont été affectés par l'incendie et son combat. On cherche uniquement à déterminer si le béton a conservé les propriétés qu'il avait avant l'incendie.

Tableau VI

Effets de la chaleur sur le béton
(Adapté de Nollet, 2000)

Type de béton (granulats)	Couleur	Température atteinte (°C)	Condition
Siliceux (généralement de type S : contenant au moins 30% de quartz, de chert ou de silex)	Normale	0-300	Normale
	Rose	300-600	Perte de capacité
	Blanc gris	600-900	Faible et friable
	Chamois	900 et plus	Faible et friable
Calcaire (généralement de type N : contenu en quartz, en chert ou en silex ne dépassant pas 30%)	Gris	0-200	Normale
	Rose pâle	200-400	Perte de capacité
	Gris mat	400-600	Faible

3.6.1 Maçonnerie

La maçonnerie résiste mieux à la chaleur que le béton (NFPA, 1997). Par exemple, une brique d'argile résistera sans dégradation à des températures allant jusqu'à 1000 °C. En fait, c'est le mortier utilisé entre les briques qui se dégrade plus que la brique. Il est donc important d'examiner les joints afin de déceler toute fissuration ou dégradation.

À partir de 1000 °C environ, la maçonnerie change de coloration et devient de plus en plus friable. De plus, selon la teneur en eau dans la maçonnerie, des éclatements de surface peuvent se produire. Ces éclatements peuvent atteindre une profondeur

d'environ 50 mm. La teneur en eau de la maçonnerie varie selon les conditions d'humidité à laquelle elle était habituellement exposée avant l'incendie.

3.6.2 Fissures dans le béton

Le témoin expert examine le béton afin de déceler tout signe de faiblesse découlant de l'incendie. Les fissures qui ont été réparées avant l'incendie doivent être notées, car elles constituent des faiblesses dans l'élément. Les fissures dans les zones de tension d'un élément en béton ne sont pas significatives, spécialement lorsque les barres d'armature sont suffisamment enfouies dans le béton pour qu'elles n'aient pas été exposées à des chaleurs excessives.

Il en est tout autrement pour des fissures observées dans une zone de compression. Ces fissures peuvent indiquer une attaque significative de l'élément en béton. L'éclatement indique au moins trois possibilités :

- a. le béton n'est plus suffisamment résistant aux charges ;
- b. les barres d'armatures ont été attaquées par le feu de telle sorte que les charges reprises par l'acier se sont transférées au béton ;
- c. des éléments structuraux importants ont été perdus durant l'incendie et les charges en se redistribuant dans le reste du bâtiment ont surchargé l'élément en béton.

Durant l'examen après incendie, on cherche à répertorier toutes les fissures, mais surtout celles qui découlent de l'incendie.

3.6.3 Éclatements de surface

Les éclatements observés à la surface du béton, de la maçonnerie et de la brique sont une indication du passage du feu. Les éclatements se produisent pour diverses raisons

découlant de tensions entre les différentes couches du matériau. Dans les zones plus chargées, les éclatements peuvent être plus prononcés même si ces secteurs sont plus ou moins exposés au feu (NFPA, 1997).

Les éclatements de la surface du béton donnent également des indices d'endommagement. On retrouve deux types de dommages par éclatement découlant d'un incendie.

Un premier type d'éclatement survient pendant l'incendie lorsque le béton est exposé à une chaleur intense. L'eau contenue dans le béton se vaporise et crée des pressions suffisantes pour rompre le béton. La figure 15 (a) montre une vue en coupe d'un élément de béton avec armature qui se fissure par exposition au feu. En (b), les fissures se développent puis il y a éclatement ce qui expose l'armature. Les éclats qui surviennent lors de l'incendie peuvent être identifiés par le fait qu'ils sont normalement sales et recouverts de suie. L'éclatement du béton est particulièrement néfaste car il expose subitement l'acier d'armature aux températures très élevées produites par l'incendie. La destruction des barres d'armature est significativement accélérée et peut causer la ruine de l'élément structural, d'autant plus que les armatures ont une petite section et sont donc plus vulnérables à la chaleur intense qu'une pièce métallique massive.

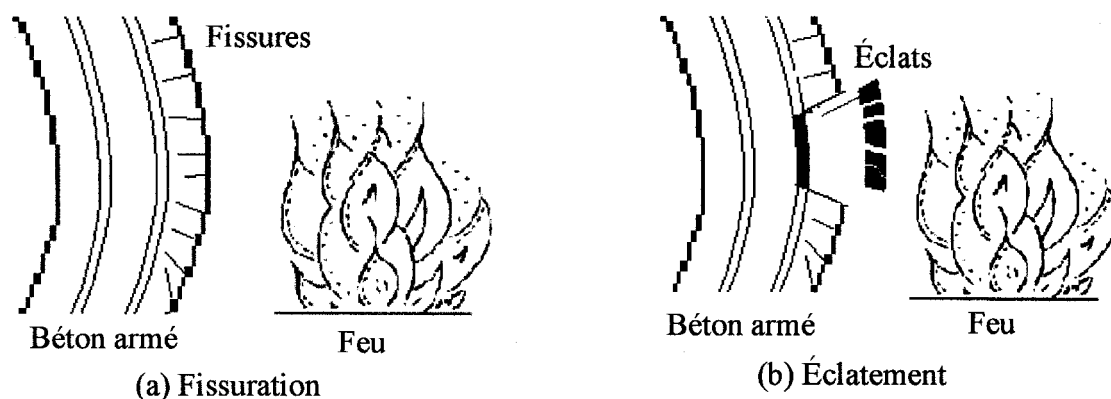


Figure 15 Fissuration et éclatement du béton par contraintes thermiques

Un deuxième type d'éclatement de béton par choc thermique superficiel est également observé après un incendie et est généralement beaucoup moins dommageable pour le bâtiment. En combattant l'incendie, les pompiers dirigent de l'eau froide sur des surfaces de béton qui peuvent être très chaudes, ce qui cause un choc thermique en surface (figure 16). Cette variation subite de la température produit des éclatements des surfaces. Ces éclats seront beaucoup plus propres que ceux causés par une surexposition à de hautes températures. On ne retrouvera que peu ou pas de dépôt de suie recouvrant les surfaces éclatées car il aura été nettoyé par le jet d'eau froide utilisé pour combattre l'incendie.

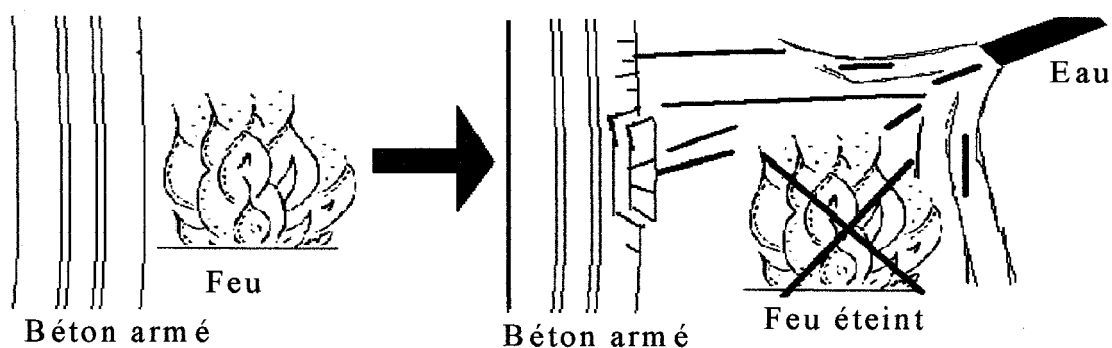


Figure 16 Éclatement du béton par contraintes thermiques après l'incendie

Une fois la source de chaleur éliminée, le béton peut continuer à se détériorer. La surface extérieure du béton refroidit plus rapidement que l'intérieur, ce qui génère un gradient de température. Ce gradient va produire des efforts de tension dans le béton qui peuvent être suffisants pour causer des fissures en surface. Ainsi, à cause de cette dégradation qui se poursuit après l'incendie, la résistance à la compression d'un poteau de béton après l'incendie peut être plus faible qu'à haute température pendant l'incendie. Même si la structure a résisté aux charges pendant l'incendie, on ne peut donc pas supposer qu'elle est nécessairement capable de les soutenir après. Même une fois l'incendie

complètement éteint, le bâtiment endommagé continue de se dégrader plus ou moins rapidement jusqu'à ce qu'il soit complètement refroidi.

3.6.4 Essais sur le béton

Le témoin expert fait d'abord une analyse préliminaire non destructive en frappant la surface avec un marteau ce qui permet de déceler certaines variations des propriétés du béton. Le son émis sera plus clair pour un béton sans fissure, alors qu'un béton fissuré transmettra un son plus étouffé. Il cherchera donc à déceler les variations relatives de l'état du béton. La prémisse est que les matériaux avant l'incendie avaient des caractéristiques uniformes et constantes ce qui est valable dans un contexte d'assurance, car on cherche premièrement à établir l'état du bâtiment avant l'incendie, en supposant que tout était sain et conforme aux normes. Cela n'est pas souvent le cas, particulièrement lorsqu'il s'agit de bâtiments ayant été rénovés ou modifiés. Dans ce cas, des essais sur chacune des sections rénovées du bâtiment doivent être faits afin d'y déceler des variations significatives du béton. On devra possiblement procéder à un échantillonnage, entre autres, par le carottage du béton.

Plusieurs essais, destructifs ou non, permettent d'évaluer la capacité résiduelle d'un béton exposé à la chaleur. L'Association canadienne du ciment Portland (ACCP), l'American Concrete Institute (ACI), l'Association canadienne de normalisation (CSA¹), l'ASTM et d'autres organismes publient des documents qui donnent tous les détails sur les divers essais qui peuvent être effectués sur le béton dans un bâtiment. Dans le cadre de la vérification de bâtiments incendiés, le témoin expert doit établir les zones qui nécessitent des essais plus approfondis, bien qu'ils ne soient pas toujours effectués. Le témoin expert a recours aux services d'un laboratoire certifié pour ces essais car la

¹ De l'anglais : Canadian Standards Association

validité des résultats du laboratoire est difficilement contestable. Les essais les plus utiles et une référence permettant d'obtenir plus de détails suivent.

En ce qui a trait aux essais non destructifs, les spécialistes en béton utilisent fréquemment les essais au marteau Smith, définis dans la norme ASTM C805 (2002) et le *pull-off test* (Long et Murray, 1984). Pour plus de détails sur l'inspection, on se réfère à des normes telles que ACI 311 intitulée *Pratiques recommandées pour l'inspection du béton* (ACI, 1989).

Pour les essais destructifs, le témoin expert identifie les zones problématiques et demande un échantillonnage en vue d'analyses pétrographiques des échantillons. Ces analyses sont faites par des laboratoires reconnus. Dans ce cas, les analyses pétrographiques obtenues sont fiables mais donnent des valeurs seulement pour l'endroit testé.

Il est donc judicieux de faire les vérifications visuelles et les essais non destructifs, puis de corroborer ces observations avec des essais destructifs qui serviront à étalonner les constatations et ainsi terminer l'étude de la réaction des matériaux de construction lors de l'incendie.

CHAPITRE 4

ANALYSE DES CONSTATATIONS RÉSULTANT DE L'AUSCULTATION DU BÂTIMENT INCENDIÉ

Le témoin expert procède maintenant à l'analyse du bâtiment dans son ensemble. Il évalue la détérioration de la structure et la redistribution des charges qui en résultent. Puis il repère les déformations excessives, les bombements et les éclatements dans le bâtiment. L'étude du dossier doit être documentée de photographies et d'illustrations. Les constatations qui découlent de cette analyse constituent l'étape finale de l'auscultation des bâtiments incendiés.

4.1 Évaluation de la détérioration de la structure

Pour évaluer la détérioration de la structure, le témoin expert doit étudier la redistribution des charges et identifier les déformations excessives qui découlent de l'incendie. Soulignons que la détérioration causée par l'incendie peut se poursuivre après l'incendie, d'où l'importance d'évaluer rapidement l'état de la structure et d'apporter des mesures correctives.

Le feu en chauffant les pièces métalliques cause un allongement par dilatation thermique. Cet allongement peut générer des poussées non prévues aux extrémités d'éléments élancés. On peut penser au cas d'une poutre en acier aux extrémités de laquelle on retrouve le parement de brique extérieur. La poutre dilatée par la chaleur pousse sur le parement de briques et le fait bomber vers l'extérieur (figure 17). Cela peut représenter un risque de bombement résiduel excessif après l'incendie ou d'effondrement. Le mortier ainsi endommagé entre les joints et les briques déplacées lors du feu reste dans cet état une fois la source de chaleur retirée et le feu éteint.

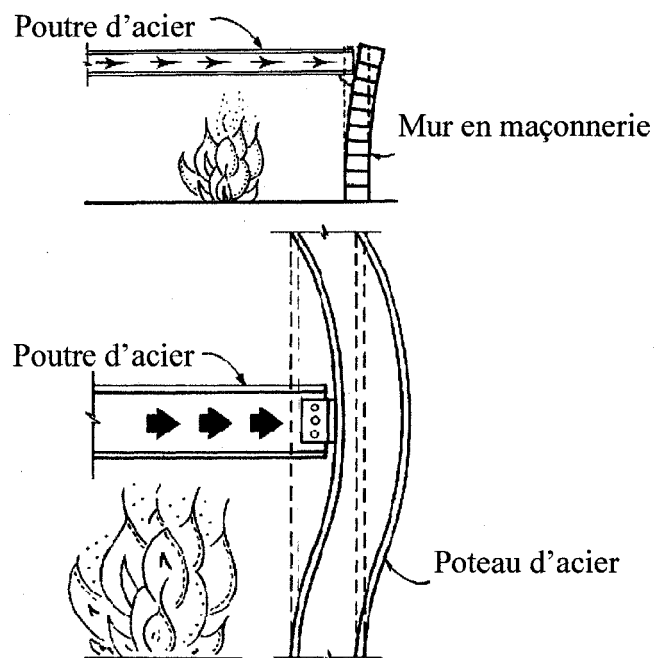


Figure 17 Déformation d'une poutre
(Adapté de Gosselin, 1987)

4.1.1 Redistribution des charges dans la structure

Par définition, dans une structure isostatique, la défaillance d'un élément structural mène à la ruine de la structure complète sans redistribution des charges. Dans une structure hyperstatique, lorsqu'une composante structurale est détruite, les autres composantes de la structure reprennent les charges. Ce processus de redistribution des charges dans la structure mène à la surcharge des éléments toujours en place après l'incendie. Lors de l'inspection du bâtiment incendié, il faut identifier les effets de la redistribution des charges. Cela évite de réutiliser certains éléments non exposés au feu, mais déformés par une surcharge excessive.

Tel que mentionné au point 1.3, l'utilisation des plans et dessins originaux permet de mieux analyser la redistribution des charges dans le bâtiment. On pourra déterminer le

niveau d'hyperstaticité des autres composantes moins affectées par le feu. Les plans complètent donc les informations recueillies lors de l'inspection. Ainsi, les plans permettent de voir si des éléments physiquement éloignés et qui n'ont pas été exposés directement à l'incendie pourraient avoir été affectés par la redistribution des charges.

4.2 Photographies et illustrations

Les photographies et illustrations sont primordiales afin de bâtir un dossier solide. Elles permettent de statuer plus facilement sur l'état du bâtiment et d'y référer au besoin. On pourrait par exemple montrer à un tiers les indices expliquant la progression de l'incendie.

Les photographies permettent de faire ressortir les observations du témoin expert. Il doit être capable de situer facilement, dans le bâtiment, chacune des photographies prises lors de l'auscultation. Des notes détaillées accompagnant chaque photographie facilitent les consultations ultérieures et permettent de souligner les détails. De plus, un dateur/compteur permet d'enregistrer plus aisément la séquence des photographies. À titre d'exemple, les photographies 3 (a) et (b) montrent que la progression du feu a été arrêtée par la présence de doubles portes.

Lorsque certains détails sont petits tels que les fissures et l'éclatement de béton, il est utile de prendre une photographie générale, c'est-à-dire une photographie permettant de bien situer le détail, puis de photographier de près le détail en question (voir les photographies 24 et 25 de l'étude de cas n° 3). Certains détails qui pourraient sembler non significatifs lors de l'auscultation du bâtiment pourraient éventuellement devenir importants. Il est donc judicieux de photographier l'environnement autour du secteur d'intérêt. Lorsque cela est justifié, comme une démolition éminente du bâtiment, il peut être nécessaire de photographier tous les murs, les plafonds et les planchers, dans chacune des pièces du bâtiment, ainsi que les faces extérieures de ce dernier et son

environnement. Les photographies prises de l'extérieur doivent permettre de situer le bâtiment par rapport aux rues et bâtiments avoisinants. Cela facilitera le positionnement des autres observations. Également, cela donne une vue générale de l'état du bâtiment et de son environnement, les conditions climatiques, etc.



(a) Porte fermée



(b) Porte ouverte

Photographie 3 Effets d'une porte sur la propagation du feu
(Adapté de Pyrotech BEI inc., ----b)

La séquence des photographies 4 à 13 donne un exemple typique de photographies montrant l'extérieur du bâtiment puis, dans la pièce où l'incendie a eu son origine, la carbonisation des murs, du plafond et du plancher. Il s'agit d'un bâtiment à logements multiples. La pièce d'origine de l'incendie donne sur la façade du deuxième étage.

Les illustrations servent aussi à compléter les commentaires contenus dans le rapport de vérification du bâtiment. Les plans du bâtiment peuvent aider le témoin expert dans l'élaboration d'illustrations de l'état du bâtiment. Les illustrations peuvent être de simples croquis servant à délimiter les zones affectées par l'incendie ou des dessins

détaillés faisant ressortir certains détails relatés dans les commentaires faits sur l'état du bâtiment.



Photographie 4 Extérieur du bâtiment, façade est
(Adapté de Pyrotech BEI inc., ----c)



Photographie 5 Extérieur du bâtiment, arrière et côté sud
(Adapté de Pyrotech BEI inc., ----c)



Photographie 6 Mur ouest
(Adapté de Pyrotech BEI inc., ----c)



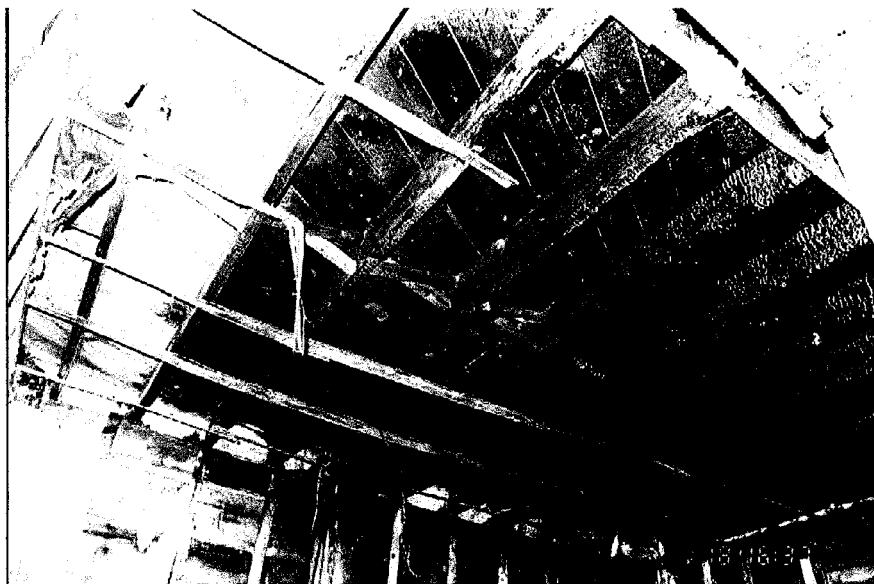
Photographie 7 Mur nord
(Adapté de Pyrotech BEI inc., ----c)



Photographie 8 Mur est
(Adapté de Pyrotech BEI inc., ----c)



Photographie 9 Mur sud
(Adapté de Pyrotech BEI inc., ----c)



Photographie 10 Plafond partie nord-est
(Adapté de Pyrotech BEI inc., ----c)



Photographie 11 Plafond partie sud-est
(Adapté de Pyrotech BEI inc., ----c)



Photographie 12 Plancher partie nord-est
(Adapté de Pyrotech BEI inc., ----c)



Photographie 13 Plancher partie sud-est
(Adapté de Pyrotech BEI inc., ----c)

Le témoin expert pourra aussi inclure dans son rapport des références graphiques qui ne sont pas tirées du bâtiment incendié. Ces illustrations servent à montrer des cas types, des dégradations et des phénomènes bien connus dans le domaine scientifique. Par exemple, il est facile de démontrer la similitude entre une image de béton éclaté en surface suite à une exposition à la chaleur et les photographies prises sur une scène d'incendie.

4.3 Recommandations

Un des objectifs de la vérification du bâtiment incendié est d'évaluer son état dans le but de prendre une décision éclairée et d'entreprendre les actions qui s'imposent, soit :

- a. le nettoyage ;
- b. la reconstruction ;
- c. la démolition.

La fumée et l'eau se répandent rapidement dans un incendie et atteignent les moindres recoins. Ainsi, la suie et la saleté couvrent les éléments du bâtiment sans pour autant qu'ils aient été affectés par la chaleur. Le nettoyage peut permettre de remettre à son état initial le bâtiment et permettre une meilleure évaluation des dommages structuraux. Dans tous les cas, le nettoyage se fait si les dommages sont mineurs et donc n'affectent aucunement l'intégrité structurale du bâtiment.

Dans le cas de dommages plus importants, il s'avère généralement avantageux de reconstruire ou de remplacer certains composants endommagés. Toutefois, les travaux de reconstruction exigent de bonnes connaissances des composants en place ainsi que de leurs interactions et compatibilités avec les matériaux de remplacement. Lorsque les dommages au bâtiment sont trop importants ou qu'un danger imminent résulte de l'incendie, la solution est de le démolir. Quand la sécurité peut être assurée, le niveau de

dommages est contrebalancé par sa valeur. Il devient donc important de ne pas évaluer uniquement les dommages mais également la valeur du bâtiment, tant monétaire que sentimentale ou historique.

CHAPITRE 5

ÉTUDES DE CAS

Le présent chapitre présente trois études de cas portant sur la vérification des bâtiments incendiés et illustre la méthode proposée dans le présent document. Les bâtiments ont été construits au début du 20^e siècle et rénovés par la suite. L'utilisation des photographies montre le type de dommage observé. Dans le but de préserver la confidentialité des informations obtenues, les détails à caractère nominatif ont été volontairement omis.

5.1 Étude de cas n° 1 – Charpente d'acier

Les photographies montrées pour illustrer l'étude de cas n° 1 sont tirées de deux bâtiments similaires à celui décrit dans le texte. Cela évite toute identification possible des lieux préservant ainsi la confidentialité.

L'étude de cas porte sur la vérification de la charpente d'acier d'un bâtiment après un incendie. Le bâtiment a été construit en 1910 et les dernières rénovations ont été faites en 1994. Il s'agit d'un bâtiment commercial de trois étages, dont le dernier étage était occupé au complet par un bar. Des gicleurs à eau automatiques étaient situés au plafond de chaque étage.

Le mandat du témoin expert consiste ici à émettre des commentaires sur l'état de la structure ayant potentiellement été affectée par l'incendie. Les pertes de revenus de location étant importantes, les délais pour l'auscultation étaient très courts. Dans un premier temps, un examen visuel de la charpente devait permettre de déterminer quelles sections du bâtiment déformées par la chaleur de l'incendie et son combat devaient être rénovées ou remplacées. Pour ce faire, le témoin expert définit un classement pour les

différentes sections du bâtiment : acceptable ou affecté par l'incendie. Deuxièmement, il établit les actions correctives à apporter, soit une rénovation, soit un remplacement.

5.1.1 Examen visuel de la charpente d'acier

Le témoin expert a examiné le bâtiment environ une semaine après l'incendie, soit après que les pompiers aient remis la garde du bâtiment au propriétaire et que ce dernier lui en ait permis l'accès. Le feu et son extinction avaient fait de lourds dommages à l'étage supérieur. Les deux tiers de cet étage étaient sévèrement atteints et la toiture était presque entièrement détruite. L'étage inférieur a été endommagé principalement par l'eau et par la fumée.

Les photographies 14 et 15 montrent la façade et l'arrière du bâtiment dont la charpente en acier a été fortement déformée par l'incendie. Les photographies 16 à 19 montrent les déformations de la charpente. Sur la photographie 18, on remarque la déformation du poteau près du mur mitoyen. La zone d'endommagement débute à cet endroit ; les poutres en arrière-plan sont beaucoup moins déformées et ne présentent aucun signe d'attaque par la chaleur. Les déformations des poutres et poteaux d'acier permettent donc de délimiter la zone d'endommagement.

En examinant les planchers et les débris d'incendie qui les jonchaient, le témoin expert a estimé que le poids des débris n'a pu surcharger les planchers. De plus, il observe qu'aucune fissure importante ou écaillage du plancher de béton n'est présent, ce qui lui permet de penser que le plancher n'a pratiquement pas été affecté par l'incendie. En effet, les gicleurs ont probablement inondé rapidement et protégé le plancher. Par ailleurs, une grande partie du contenu du bar a été consumée par le feu, réduisant ainsi son poids.



Photographie 14 Façade du bâtiment après l'incendie
(Adapté de Pyrotech BEI inc., ----d)



Photographie 15 Arrière et côté gauche du bâtiment incendié
(Adapté de Pyrotech BEI inc., ----d)

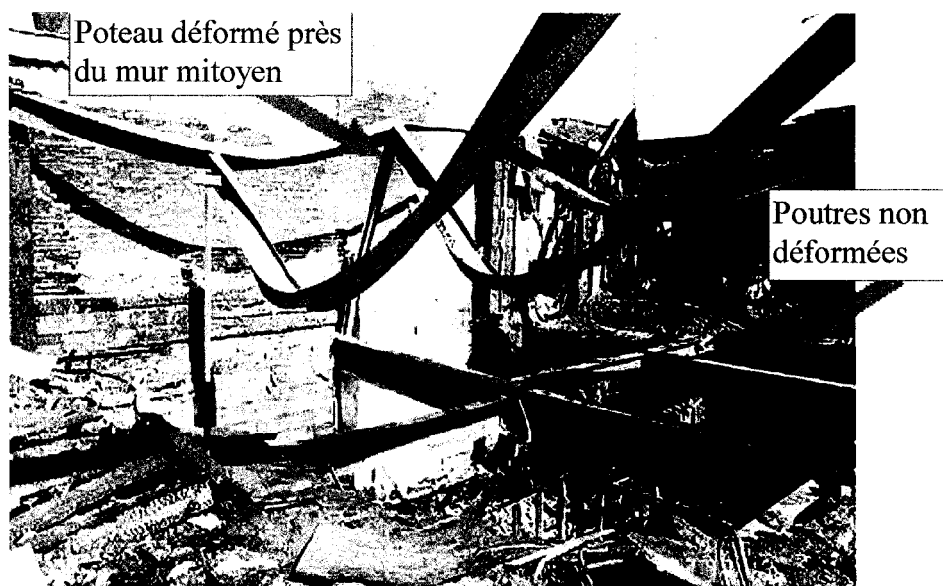
Poutres déformées



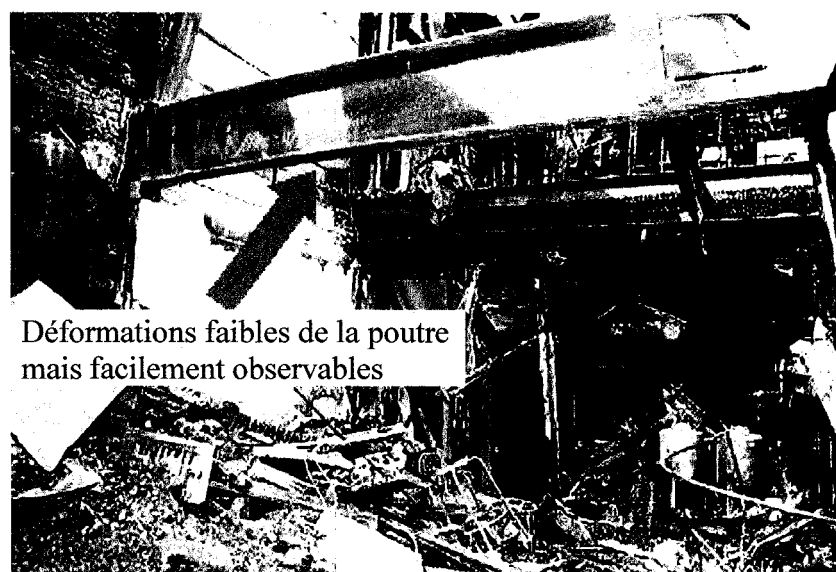
Photographie 16 Poutres du toit fortement déformées après l'incendie
(Adapté de Pyrotech BEI inc., ----d)



Photographie 17 Déformation des poutres du toit
(Adapté de Pyrotech BEI inc., ----d)



Photographie 18 Grandes déformations et déversement des poutres du toit
(Adapté de Pyrotech BEI inc., ----d)



Photographie 19 Assemblage entre la poutre du dernier étage et le mur mitoyen
(Adapté de Pyrotech BEI inc., ----d)

Les photographies 20 à 22 montrent la façade et le plancher en béton du deuxième bâtiment avec une charpente d'acier. L'incendie a fortement endommagé la structure du dernier étage au-dessus du plancher de béton qui est demeuré intact. On aperçoit l'état de ce plancher de béton après l'incendie sur les photographies 21 et 22. Les tuiles vinyliques qui recouvraient une portion du plancher sont demeurées en place.



Photographie 20 Façade du bâtiment incendié
(Adapté de Pyrotech BEI inc., ----e)



Photographie 21 Plancher de béton du dernier étage
(Adapté de Pyrotech BEI inc., ----e)



Photographie 22 Section du plancher de béton avec des tuiles vinyliques
(Adapté de Pyrotech BEI inc., ----e)

5.1.2 Conclusion

Compte tenu des nombreux changements de propriétaire depuis 1910, les plans du bâtiment n'étaient pas disponibles ni aux bureaux de la municipalité, ni auprès du propriétaire actuel. Seules les dates de construction et de rénovations étaient disponibles à la municipalité et aucun autre renseignement pertinent n'a pu être obtenu. De plus, comme le bâtiment est de petites dimensions, il n'était pas soumis au Règlement sur la sécurité dans les édifices publics (Loi S-3r4, 2001.) et aucune information n'était disponible à la Régie du bâtiment du Québec. Toutes les autres informations sur le bâtiment telles que les copies des plans, les inspections, les infractions relevées et les détails des documents utilisés pour l'émission des permis n'ont pu être obtenues ici.

Des travaux de restauration étaient en cours aux étages inférieurs et le contremaître responsable de ces travaux a été avisé par le propriétaire de la vérification du dernier étage par le témoin expert. Les travaux de démolition et de nettoyage n'étant pas entièrement complétés, le site était aussi dangereux qu'un chantier de démolition. Dans ces conditions, le témoin expert fait une reconnaissance des lieux et vérifie l'état de la charpente des planchers avant d'y circuler. Par la suite, le témoin expert procède à l'examen visuel de tout l'étage supérieur. Il fait un relevé des murs et cloisons, ce qui lui permet de localiser les éléments porteurs du bâtiment et de noter l'ampleur des dommages.

Le témoin expert constate que la structure est faite de poutres et de poteaux en acier. Les murs extérieurs, faits de trois rangées de briques, supportent l'extrémité des poutres du toit et le pourtour des planchers en béton armé. La toiture est faite d'un platelage de bois et repose sur les poutres d'acier. À l'exception d'une petite section à l'avant du bâtiment, le toit a presque entièrement brûlé.

Les poutres d'acier qui supportent le toit sont visiblement beaucoup plus déformées à l'arrière du bâtiment qu'ailleurs. Le témoin expert note que les dommages les plus sévères sont localisés dans le tiers arrière du bâtiment, près du mur mitoyen du côté gauche du bâtiment. L'avant du bâtiment semble moins endommagé, bien que la peinture brûlée et la dégradation avancée de la finition intérieure indiquent que cette partie du bâtiment a été exposée à de hautes températures.

Le système de protection incendie, constitué principalement d'une alarme incendie et de gicleurs à eau, a fonctionné et limité les dommages aux étages supérieurs. Au troisième étage, l'endommagement est tel que certaines poutres d'acier sont fortement déformées et doivent être remplacées (photographies 16 à 19). Par ailleurs, les déplacements dus à l'allongement thermique de deux poutres voisines reposant sur le mur de briques l'ont endommagé et rendu instable. La photographie 15 montre une section du mur de briques qui s'est effondrée à cause de l'allongement thermique des poutres.

En examinant les assemblages entre les poutres endommagées et les poteaux, l'expert n'a noté aucune déformation visible. Cependant, la peinture recouvrant l'assemblage était consumée, et compte tenu de leur contact direct avec les poutres déformées, les boulons d'assemblage pouvaient avoir été déformés par la chaleur de l'incendie. Compte tenu des courts délais, un examen plus poussé et des essais sur les matériaux n'ont pu être effectués et afin d'éviter tout risque supplémentaire, le témoin expert a classé ces poutres et poteaux comme étant affectés par l'incendie. Par conséquent, ils seront remplacés et les assemblages refaits.

Ailleurs, la peinture qui recouvre les poutres et les poteaux n'a été que salie par l'incendie. Ni décollement ni dégradation par la chaleur n'ont été observés, du moins sur la partie visible de l'intérieur du bâtiment. Dans cette situation, le témoin expert a conclu que ces éléments n'ont pratiquement pas été endommagés par l'incendie et peuvent être récupérés, si cela s'avère économiquement avantageux.

Le témoin expert a inspecté toutes les bases des poteaux d'acier. Il a observé qu'elles étaient recouvertes de papier et pièces de bois et que le béton aux environs ne présentait aucun endommagement par la chaleur. Le témoin conclut donc que les dommages à la structure sont limités à une partie de la structure au-dessus du plancher du deuxième étage. La dalle de béton du troisième étage, mouillée par les gicleurs, a arrêté la propagation de l'incendie vers le bas. Aux étages inférieurs, seuls les panneaux de plaque de gypse étaient déformés par l'eau et risquaient de tomber. Ces dommages de finition n'affectent en rien la structure et le témoin expert classe cette partie du bâtiment comme n'ayant pas été affectée par l'incendie.

5.2 Étude de cas n° 2 – Charpente de bois

L'étude de cas suivante illustre la vérification de la structure de bois d'une maison unifamiliale de deux étages avec sous-sol.

5.2.1 Examen visuel de la charpente de bois

L'examen visuel de la structure du bâtiment a permis au témoin expert de constater ce qui suit :

- a. deux fermes de toit ont été coupées, probablement lors du combat incendie ;
- b. au sous-sol, le linteau de bois de la fenêtre avant est carbonisé et l'arrière de la brique a été exposé directement à la chaleur. Cette pièce de bois supporte directement le plancher du rez-de-chaussée qui a été endommagé par le combat incendie ;
- c. le plancher de bois du rez-de-chaussée supporte les murs extérieurs. Remplacer ce plancher demande une intervention aux murs extérieurs ;

- d. un mur porteur est appuyé sur la poutre principale, d'un seule pièce, situé près de l'escalier du sous-sol et est endommagé par le feu.

Le remplacement des composantes endommagées nécessitait la mise en place de structures temporaires considérables pour supporter le reste de la structure et risquait d'endommager le parement de briques extérieur.

L'examen visuel a également permis de constater que les murs de fondation et la dalle de béton du sous-sol n'étaient pas affectés par l'incendie et pouvaient servir à nouveau.

5.2.2 Conclusion

Les coûts des réparations mentionnées plus haut s'ajoutent à ceux reliés au remplacement de la finition intérieure et de l'isolation. Selon l'estimateur en bâtiment, le coût de remplacement de la finition intérieure et de l'isolation représente déjà plus de 70% de l'évaluation municipale de la maison. D'autre part, les deux tiers de la charpente de bois sont affectés par le feu et devaient être remplacés, dépassant ainsi la limite de 50% de destruction prescrit par la réglementation municipale pour l'émission d'un permis de rénovation. De plus, les travaux risquent d'endommager davantage la maison. Par conséquent, le témoin expert conclut que le coût des travaux de réparation excède celui de reconstruction. Dans cette situation, le bâtiment a donc été démoli.

5.3 Étude de cas n° 3 - Sonde thermique et feu extérieur

L'étude de cas n° 3 montre l'utilisation des données d'une sonde thermique pour caractériser un incendie extérieur au bâtiment et établir les dommages qui lui sont attribuables.

5.3.1 Examen visuel du mur

Il s'agit ici d'un bâtiment de quatre étages abritant des entrepôts manufacturiers. La date de construction n'est pas connue. Le quatrième étage, ajouté cinq ans avant l'incendie, est incorporé au traitement architectural extérieur, et est mis en évidence par des bandes blanches (photographies 23 et 24). La charpente du bâtiment, en béton et en acier, est incombustible. La charpente des trois premiers étages est en béton et les murs extérieurs sont en briques. La charpente du dernier étage est en acier et les murs extérieurs sont constitués de plaques de gypse recouvertes d'un isolant rigide et d'un revêtement d'acrylique extérieur. Les dommages au bâtiment se limitent à un mur extérieur, à trois mètres duquel un véhicule stationné a pris feu.

L'inspection visuelle par le témoin expert lui a permis de constater que les dommages se limitaient au revêtement extérieur, soit une partie du mur de briques pour les trois premiers étages et des panneaux d'acrylique pour le dernier. La photographie 23 montre la sonde thermique et la partie du mur qui a été endommagée par l'incendie. La photographie a été prise après l'enlèvement du revêtement d'acrylique au dernier étage. On aperçoit l'isolant rigide, en styromousse blanc, partiellement fondu par la chaleur du feu, les panneaux de gypse et des bandes de ruban rouge utilisé pour sceller les joints. La chaleur de l'incendie a fait fondre l'isolant qui se trouvait entre le revêtement d'acrylique et les panneaux de gypse. Par contre, les panneaux de gypse ne montrent pas de signe d'endommagement, ce qui permet au témoin expert de conclure que la chaleur n'a pas attaqué la structure d'acier du bâtiment.

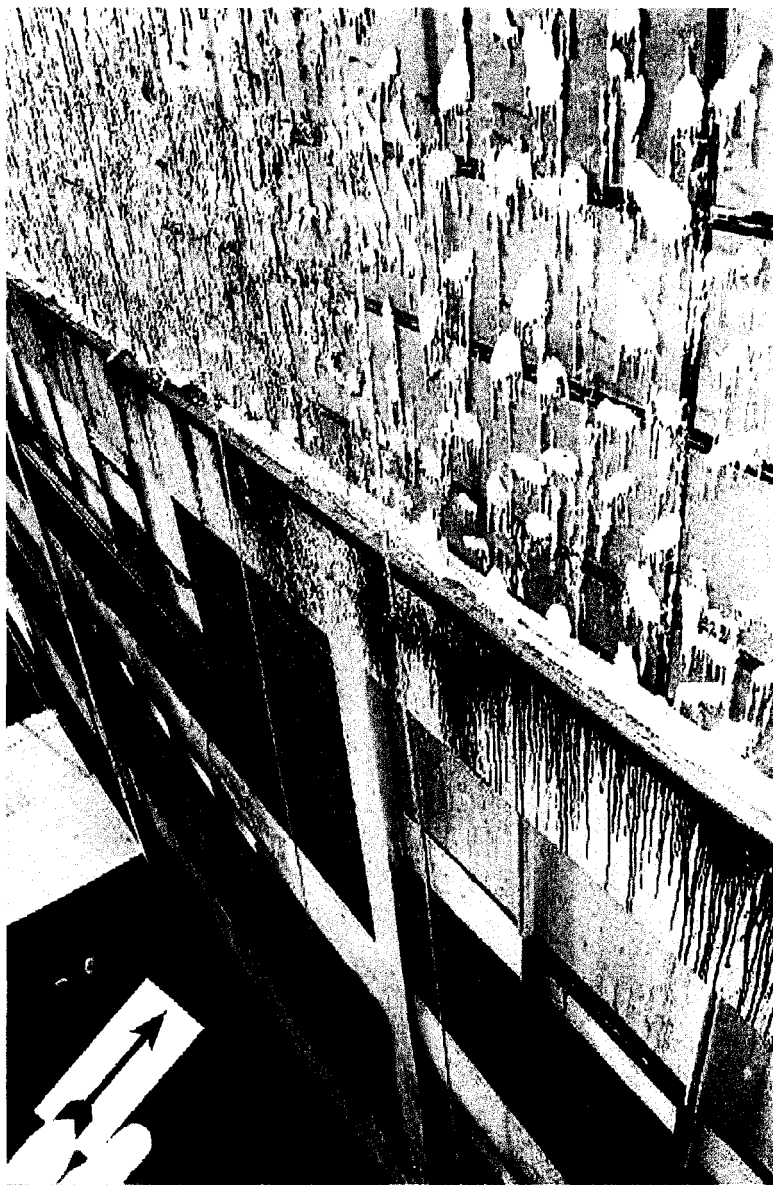
Le poteau de béton le plus proche du feu était situé près d'une des sondes thermiques utilisées par le système de chauffage et de climatisation du bâtiment éteint. La sonde permet de mesurer la température de l'air à l'extérieur afin de contrôler les systèmes de chauffage et climatisation de l'immeuble. La photographie 24 montre une vue de la sonde après le feu. Bien que la sonde thermique ait été exposée à l'incendie, elle a

toujours fonctionné car elle n'a pas été fortement exposée à la chaleur et seuls les éléments non métalliques de la sonde se sont déformés (photographie 25).

5.3.2 Conclusion

L'analyse des données (annexe 3) de la sonde thermique a permis au témoin expert de caractériser l'incendie et de corroborer les informations recueillies après l'incendie. Selon les données de la sonde, le bâtiment a été exposé à la chaleur du feu moins de 60 minutes, soit entre 01h10 et 02h10 et la température maximale a été de 119 °C. Cela confirme le fait que le feu a été rapidement contrôlé par les pompiers et que la chaleur de l'incendie n'a pratiquement pas atteint le bâtiment. Ainsi, le témoin expert a pu établir, avec une excellente précision, la durée totale de l'incendie et les températures maximales atteintes.

Les dommages à la brique et au béton des étages inférieurs sont un écaillage de surface. Or, comme la température maximale enregistrée par la sonde est nettement inférieure à 200 °C, c'est-à-dire la température à partir de laquelle des pertes de capacité d'un béton avec agrégat calcaire peuvent survenir (tableau V), aucune dégradation du béton n'est envisagée. L'écaillage est attribuable au choc thermique superficiel lors du contact entre la maçonnerie chauffée par l'incendie et l'eau du combat incendie (point 3.6.3). Les briques doivent donc être remplacées.



Photographie 23 Vue du mur et de la sonde
(Adapté de Pyrotech BEI inc., ----f)



Photographie 24 Sonde et partie du mur endommagé par l'incendie
(Adapté de Pyrotech BEI inc., ---f)



Photographie 25 Sonde après l'incendie
(Adapté de Pyrotech BEI inc., ----f)

CONCLUSION

L'approche décrite dans le présent document permettra d'ausculter adéquatement les bâtiments incendiés afin de déterminer la nature et l'étendue des dommages attribuables à l'incendie. La démarche proposée est décrite par ordre, dans les chapitres 1 à 4.

La première étape de la méthode consiste à bien se préparer pour l'auscultation d'un bâtiment incendié. Pour ce faire, il est essentiel d'établir clairement le mandat du témoin expert. Par la suite ce dernier doit obtenir un maximum d'informations au sujet du bâtiment et s'informer sur les lois et règlements applicables. Le CNB fournit plusieurs normes permettant d'approfondir les connaissances du témoin expert sur les exigences de protection incendie pour tout bâtiment incendié. Compte tenu du risque particulier de propagation que présentent les vides techniques, il a été souligné brièvement que ces espaces doivent être isolés du reste du bâtiment. La collaboration des pompiers et des propriétaires du bâtiment est essentielle et permet de travailler en toute sécurité.

La deuxième étape consiste à caractériser l'incendie, c'est-à-dire déterminer ses deux paramètres principaux, soit la durée et la température. Une méthode de la NFPA pour déterminer l'origine de l'incendie permet d'ausculter les zones endommagées du bâtiment en progressant de la zone la moins endommagée à celle la plus atteinte. L'étude de cette progression est un autre moyen qui permet d'expliquer la nature et l'étendue des dommages. Dans le but de mieux évaluer le comportement du bâtiment dans un incendie, des feux normalisés ont été développés et on a présenté les normes de la CSA et les appareillages utilisés pour les reproduire. Cela a permis de constater que le feu normalisé recrée les conditions d'un incendie, soit le degré de chaleur dégagé par la majorité des incendies. Les normes E119 et S101 sont utilisées pour des feux d'une intensité normale. La norme UL1709 décrit un feu d'une intensité plus élevée que les deux précédentes; en quelques minutes la température excède 1000 °C. Cela simule un embrasement généralisé très rapide. Les appareillages pour mettre à l'épreuve les

assemblages consistent en des fours horizontaux et verticaux capables de recevoir des constructions grandeur nature. La chaleur produite par ces fours est contrôlée afin de suivre l'augmentation de chaleur décrite dans la norme utilisée pour l'essai.

La troisième étape concerne les techniques d'auscultation de bâtiment, basé sur la détermination des températures critiques pour les principaux matériaux de construction, soit l'acier, le bois et le béton. Pour l'acier de construction, la température critique varie de 427 à 593 °C. On a constaté que c'est principalement les déformations causées par les températures élevées qui sont dommageables pour l'acier. L'embrasement généralisé survient à 590 °C. Dans un secteur du bâtiment où cela s'est produit, les températures critiques de l'acier sont dépassées et l'acier est vraisemblablement dégradé. La carbonisation du bois protège le cœur de la pièce de bois et celui-ci demeure intact. Par contre, la progression de la carbonisation réduit graduellement l'aire de la section qui reprend les forces et par le fait même sa résistance. Le béton est réfractaire et donc réagit lentement face à une augmentation de la chaleur à laquelle il est exposé. Deux types d'éclatements de surface du béton peuvent survenir lors de l'incendie. Premièrement, pendant l'incendie la chaleur cause une dilatation des granulats du béton alors que la pâte de ciment se déshydrate et rétrécit. Ces réactions contraires produisent des fissures et des éclatements qui peuvent exposer l'acier d'armature, ce qui est très dommageable. Deuxièmement, l'eau utilisée pour le combat de l'incendie refroidit brusquement la surface du béton chauffé. Cela cause des tensions, ce qui engendre des fissures et des éclatements à la surface du béton. Ce deuxième type d'éclatements ne cause que des dommages superficiels facilement réparables.

La quatrième étape consiste à faire l'analyse des informations obtenues et des constatations découlant des étapes précédentes pour évaluer l'ensemble de la détérioration du bâtiment. Cette analyse permet de bien connaître l'état du bâtiment et de déterminer ce qui est nécessaire pour la vie future de celui-ci, comme un nettoyage, une reconstruction ou un remplacement complet. La prise de photographies permet de bien

démontrer les effets que le témoin expert observe sur les scènes d'incendie, alors que les images qui viennent de la littérature scientifique aident à expliquer les phénomènes reliés à l'incendie. Les pertes matérielles attribuables au feu sont ainsi établies ce qui permettra, dans un contexte légal et d'assurance, un règlement plus juste et plus équitable pour tous.

Pour terminer, trois études de cas de structures incendiées ont été présentées. Une première étude, portant sur un bâtiment d'acier montre l'utilisation de la méthode proposée. La préparation à l'auscultation a permis d'obtenir de l'information sur le bâtiment et plus particulièrement les plans de construction pour des rénovations qui étaient en cours au moment du feu. Cela a également permis d'établir que le bâtiment avait été construit en 1910. Certaines parties de la structure métallique pouvaient donc être faites de fonte, de fer forgé ou d'acier. L'incendie avait fortement déformé la structure du toit et du dernier étage. Toutefois, le plancher de béton et l'action des gicleurs avaient confiné l'incendie à ces structures. Ainsi, l'analyse de toutes les constatations faites pendant l'examen du bâtiment a démontré que les étages inférieurs et le sous-sol du bâtiment d'acier pouvaient être réutilisés. Suite aux recommandations du témoin expert, le dernier étage et le toit ont été démolis et complètement refaits.

Pour la deuxième étude de cas, portant sur un bâtiment de bois, la préparation à l'auscultation a permis d'établir que toute la finition intérieure du bâtiment attaqué par le feu avait été enlevée, ce qui exposait une poutre principale endommagée. La carbonisation de la poutre était profonde et compromettait sa réutilisation. Son remplacement était nécessaire mais affectait plus des deux tiers de la charpente. Suite aux recommandations du témoin expert, le bâtiment a donc été démoli.

La troisième étude de cas, portant sur des sondes thermiques et un incendie extérieur, démontre que les informations recueillies peuvent être particulièrement utiles pour caractériser l'incendie et établir les dommages. La sonde située sur la paroi extérieure du

bâtiment a recueilli et transmis à l'ordinateur de climatisation et de chauffage, la durée et les températures atteintes pendant le feu. La température maximale enregistrée a été de 119 °C et le bâtiment a été exposé à la chaleur du feu pendant environ 50 minutes. Le parement extérieur de briques avait donc été affecté par l'incendie. De plus, il montrait des signes d'éclatements par contraintes thermiques, attribuables au refroidissement soudain par l'eau utilisée pour combattre l'incendie. Puisque l'isolant de polystyrène à l'arrière du parement extérieur n'avait que partiellement fondu, la chaleur n'était donc pas suffisante pour atteindre la structure d'acier du bâtiment. Cette dernière n'était aucunement affectée par l'incendie. Suite aux recommandations du témoin expert, seul le parement et l'isolant extérieur du bâtiment ont été remplacés.

La contribution du présent mémoire est de décrire une méthode adaptée en quatre étapes menant à l'élaboration d'un guide d'auscultation des bâtiments incendiés à l'usage du témoin expert. L'ordre des chapitres que nous avons utilisé pourrait servir à la rédaction d'un guide sur l'auscultation de bâtiments incendiés. Chaque titre de chapitre serait un point à vérifier, présenté sous format de tableau résumé simple et intuitif. Le présent document pourrait également servir à l'élaboration d'une grille d'évaluation spécifiquement adaptée aux bâtiments incendiés. Une telle grille pourrait être suffisamment flexible pour être applicable à tout type de bâtiment, petit ou grand.

Un tel guide permettrait d'uniformiser les méthodes d'auscultation des divers intervenants, en normalisant cette démarche. De plus, ce guide pourrait être enrichi des expériences des intervenants. Il pourrait aussi servir à la formation de nouveaux témoins experts.

ANNEXE 1

Les pertes causées par l'incendie au Canada

ANNEXE 1

LES PERTES CAUSÉES PAR L'INCENDIE AU CANADA

Contenu de l'évolution rapide des informations sur Internet et des mises à jour régulières, le texte que l'on retrouve dans la présente annexe est une retranscription du texte à l'adresse :

http://info.load-otea.hrdc-drhc.gc.ca/prevention_incendies/pertes_causees/annuel.shtml
au 9 avril 2002.

« Le rapport annuel sur les Pertes causées par l'incendie du Canada est préparé par la division de la sécurité au travail et prévention des incendies, Développement des ressources humaines Canada et publié par le Conseil canadien des directeurs provinciaux et des commissaires des incendies. Ce rapport est rédigé à partir des données fournies par le Conseil canadien des directeurs provinciaux et des commissaires des incendies, les Affaires indiennes et par Statistique Canada.

1999

Sommaire

En 1999, un montant de 55 169 incendies a été rapporté; 388 décès; 2 287 blessures et un montant de pertes matérielles s'élevant à 1 231 936 723 \$.

Le secteur de l'habitation demeure celui où l'on rapporte le plus grand nombre d'incendies. En 1999, on y a enregistré 22 150 incendies, soit 40 % du nombre total d'incendies signalés au pays. Ces incendies ont entraîné 284 décès, soit environ 73 % des décès accidentels causés par l'incendie au pays. Quant aux pertes matérielles, elles se sont élevées à 517 millions de dollars, soit 42 % de la valeur totale des pertes.

Dans la catégorie des propriétés spéciales, le deuxième en importance au niveau des pertes, on fait état de 20 381 incendies, dont la valeur des pertes s'élève à près de 37 % du total des pertes signalées pour l'ensemble du pays. Le nombre d'incendies de véhicules s'est élevé à 13 017, entraînant des pertes de 88 millions de dollars. Les pertes matérielles subies dans l'ensemble du

secteur des propriétés spéciales s'élèvent cette année à environ 140 millions de dollars.

En ce qui concerne les sources d'inflammation, les trois catégories suivantes (à l'exception des causes diverses et indéterminées), viennent en tête pour le nombre des incendies déclarés : les articles pour fumeurs et les flammes nues ont provoqué 11 081 incendies et des pertes matérielles de l'ordre de 166 238 816 \$; les appareils de cuisson, qui sont à l'origine de 6 143 incendies, ont causé des pertes de 76 millions de dollars; appareil de chauffage qui a causé 4 857 incendies entraînant des pertes matérielles de 86 millions de dollars.

Le tableau 7 (non disponible sur le site internet) présente les incendies regroupés sous la rubrique "actes ou omissions" Comme pour les années antérieures, la cause la plus fréquente d'incendie est le mauvais fonctionnement ou les pannes mécaniques ou électriques; on a signalé en effet 11 757 incendies dans cette catégorie. Les pertes matérielles pour 1999 sont 279 millions de dollars dans cette catégorie. Dans la catégorie des incendies criminels et autres incendies volontaires, on a signalé 10 170 incidents et se chiffrant à 221 990 022 \$ de pertes de dollars.

En résumé, le secteur de l'habitation continue d'être un domaine de très vive préoccupation, puisqu'on y trouve 73 % du nombre total des décès, 40 % du nombre total des incendies et 42 % des pertes matérielles. Le nombre élevé des incendies provoqués par le matériel de distribution de l'électricité et les pertes matérielles associées, ainsi que le nombre des incendies criminels et autres incendies volontaires et les pertes matérielles connexes, constituent également deux autres secteurs de vive préoccupation pour les services d'incendie. Toutes les autorités, ainsi que le public, doivent faire preuve d'une vigilance de tous les instants, si l'on veut réduire le nombre des pertes de vie et des incendies, ainsi que les dommages matériels. »

ANNEXE 2

Exemple de rapport d'inspection de la Régie du bâtiment du Québec

[REDACTED]

Monsieur Charles Poupart, ing.

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

OBJET : Loi 65

[REDACTED]

N/D : [REDACTED]

V/D : [REDACTED]

Monsieur,

Pour faire suite à votre demande d'accès reçue le [REDACTED] dernier, veuillez trouver ci-joint copie des documents requis.

Cependant, nous vous signalons, conformément aux articles 14 et 53 de la Loi sur l'accès aux documents des organismes publics et sur la protection des renseignements personnels (L.R.Q., c. A-2.1), que les renseignements nominatifs contenus dans les présents documents ont été retranchés.

Nous vous rappelons par ailleurs que vous pouvez demander à la Commission d'accès à l'information, conformément à l'article 135 de la Loi sur l'accès, de réviser cette décision. Vous trouverez ci-annexée une note explicative concernant l'exercice de ce recours

Veuillez agréer, Monsieur, l'expression de nos sentiments les meilleurs.

[REDACTED]
[REDACTED]
Responsable

[REDACTED]

Pièces jointes

Édifice Montval, 201, Pl. Charles-Lemoyne, bur. 3.10
Longueuil (Québec) J4K 2T5
Tél.: (514) 928-7603

N° de référence

N° d'intervention

100

LIEU INSPECTÉ

100

PERSONNE AVISÉE

Nom

N° Rue

Ville

Code postal

Éq.	Réf.	Émis en vertu de: «Vous devez corriger les défectuosités énumérées ci-après dans les délais indiqués, à compter de la réception du présent avis.»	Délai de corr. (jours)	A= Annulé C= Corrigé	
				A/C	Date An Mois Jour
6	05	ARTICLE 20.1) b) VOIR À CE QUE LE PUIT D'ESCALIER CENTRAL NE SERT À AUCUNE AUTRE FIN: COMMUNICATION ENTRE LES DEUX CORRIDORS COMMUNS ET ASCENSEUR AUX ÉTAGES	45		
7	53	ARTICLE 32.11) POUR TOUS LES DÉCLENCHEURS [REDACTED]	45		
78	56	ARTICLE 38.3) f) DANS LES DEUX CORRIDORS COMMUNS À CHAQUE ÉTAGE	45		
79		ARTICLE 49.4) a) b) et c) POUR LES DEUX ESCALIERS SECONDAIRES [REDACTED]	45		

➔ Voir l'annexe A pour l'explication des défectuosités.

Nom de l'inspecteur

Signature de l'inspecteur

Date de l'avis

Accusé réception

Signature de la personne avisée ou de son représentant (titre)

Date

Page

de

Distribution des copies

En vertu de la Loi sur la santé et la sécurité du travail, des copies du présent formulaire sont distribuées aux personnes et organismes suivants :

101

selon l'article 19 :

- travailleur
- employeur
- représentant à la prévention
- maître d'œuvre

selon l'article 183 :

- représentant à la prévention
- employeur
- maître d'œuvre
- association accréditée
- comité de chantier
- comité de santé et de sécurité
- directeur de la santé publique

Liste des lois et règlements

AUTRE Autres lois ou règlements en vigueur	RIPC Règlement sur l'information concernant les produits contrôlés (Décret 443-89 du 22 mars 1989 et mods)
CB Code du bâtiment (R.R.Q., 1981, c.S-3, r.2 et mods)	RI.PSP Règlement d'application de la Loi sur la protection de la santé publique (R.R.Q., 1981, c.P-35, r.1 et mods)
CSBO Code de sécurité pour l'industrie du bois ouvré (R.R.Q., 1981, c.S-2.1, r.5 et mods)	RPMMD Règlement sur les pompes à béton et les mâts de distribution (Décret 1320-92 du 7 octobre 1992 et mods)
CSTC Code de sécurité pour les travaux de construction (R.R.Q., 1981, c.S-2.1, r.6 et mods)	RPC Règlement sur les produits contrôlés (VORS/RS-66 du 31 décembre 1987, 122 G. du C., Partie II, du 20 janvier 1988)
LATMP Loi sur les accidents du travail et les maladies professionnelles (L.Q., 1985, chapitre 6)	RPP Règlement sur le programme de prévention (Décret 1283-82 du 26 mai 1982 et mods)
LPD Loi sur les produits dangereux (C-70, S.R.C. 1970, c.H-3)	RPSPS Règlement sur les normes minimales de premiers secours et de premiers soins (Décret 1922 - 84 du 22 août 1984 et mods)
LSST Loi sur la santé et la sécurité du travail (L.R.Q., c.S-2.1, et mods)	RQMT Règlement sur la qualité du milieu de travail (R.R.Q., 1981, c.S-2.1, r.15 et mods)
RACB Règlement sur l'application d'un Code du bâtiment (Décret 912-84 du 11 avril 1984)	RRPE Règlement sur le représentant à la prévention dans un établissement (Décret 1879-84 du 16 août 1984 et mods)
RACBRS Règlement sur l'application du Code du bâtiment - 1985 (Décret 1958-86 du 16 décembre 1986 et mods)	RSAN Règlement sur les services de santé au travail (Décret 1281-82 du 26 mai 1982 et mods)
RAMET Règlement sur les ascenseurs, monte-charges, petits monte-charges, escaliers roulants et tapis roulants (R.R.Q., 1981, c.S-3, r.1 et mods)	RSHTF Règlement sur la sécurité et l'hygiène dans les travaux de fondation (R.R.Q., 1981, c.S-2.1, r.20 et mods)
RCSCI Règlement sur les conditions sanitaires des campements industriels ou autres (R.R.Q., 1981, c.Q-2, r.3 et mods)	RSSM Règlement sur la santé et la sécurité du travail dans les mines et modifications diverses dispositions réglementaires (Décret 213-93 du 17 février 1993 et mods)
RCCS Règlement sur les comités de santé et de sécurité (Décret 2025-83 du 28 septembre 1983 et mods)	RSST Règlement sur la santé et la sécurité du travail (Décret 885-2002 du 18 juillet 2001 et mods)
REIC Règlement sur les établissements industriels et commerciaux (R.R.Q., 1981, c.S-2.1, r.9 et mods)	RTF Règlement sur les travaux forestiers (R.R.Q., 1981, c.S-2.1, r.22 et mods)

Pour toute communication, veuillez vous adresser à : Commission de la santé et de la sécurité du travail

Directions régionales

AMBIEN - RÉMUSANGUET 33, rue Claude Lévesque RÉMUSANGUET (Québec) RQ 203 (418) 707-1181 (418) 707-1182 Présentation-inspection Urgences et plumes 24h / 24 (418) 707-1181 Téléphone : 742-0323	ÉPÉE-NORD 700, rue de la Loi, épée-Nord ÉPÉE-NORD (Québec) RQ 171 (418) 707-1181 (418) 707-1182 Présentation-inspection Urgences et plumes 24h / 24 (418) 707-1181 Téléphone : 742-0323	ISLE-DE-MONTREAL 1, rue de la Loi, épée-Nord ISLE-DE-MONTREAL (Québec) RQ 171 (418) 707-1181 (418) 707-1182 Présentation-inspection Urgences et plumes 24h / 24 (418) 707-1181 Téléphone : 742-0323	LAVAL 20, rue de la Loi, épée-Nord LAVAL (Québec) RQ 171 (418) 707-1181 (418) 707-1182 Présentation-inspection Urgences et plumes 24h / 24 (418) 707-1181 Téléphone : 742-0323	QUÉBEC 20, rue de la Loi, épée-Nord QUÉBEC (Québec) RQ 171 (418) 707-1181 (418) 707-1182 Présentation-inspection Urgences et plumes 24h / 24 (418) 707-1181 Téléphone : 742-0323	VALLEY FIELD 1, rue de la Loi, épée-Nord VALLEY FIELD (Québec) RQ 171 (418) 707-1181 (418) 707-1182 Présentation-inspection Urgences et plumes 24h / 24 (418) 707-1181 Téléphone : 742-0323
BA-SAINTE-ANNE 150, rue de la Loi, épée-Nord BA-SAINTE-ANNE (Québec) RQ 171 (418) 707-1181 (418) 707-1182 Présentation-inspection Urgences et plumes 24h / 24 (418) 707-1181 Téléphone : 742-0323	ÉPÉE-NORD 700, rue de la Loi, épée-Nord ÉPÉE-NORD (Québec) RQ 171 (418) 707-1181 (418) 707-1182 Présentation-inspection Urgences et plumes 24h / 24 (418) 707-1181 Téléphone : 742-0323	ISLE-DE-MONTREAL 1, rue de la Loi, épée-Nord ISLE-DE-MONTREAL (Québec) RQ 171 (418) 707-1181 (418) 707-1182 Présentation-inspection Urgences et plumes 24h / 24 (418) 707-1181 Téléphone : 742-0323	LAVAL 20, rue de la Loi, épée-Nord LAVAL (Québec) RQ 171 (418) 707-1181 (418) 707-1182 Présentation-inspection Urgences et plumes 24h / 24 (418) 707-1181 Téléphone : 742-0323	QUÉBEC 20, rue de la Loi, épée-Nord QUÉBEC (Québec) RQ 171 (418) 707-1181 (418) 707-1182 Présentation-inspection Urgences et plumes 24h / 24 (418) 707-1181 Téléphone : 742-0323	VALLEY FIELD 1, rue de la Loi, épée-Nord VALLEY FIELD (Québec) RQ 171 (418) 707-1181 (418) 707-1182 Présentation-inspection Urgences et plumes 24h / 24 (418) 707-1181 Téléphone : 742-0323
CHAUDIÈRE - APPELACHES 77, rue de la Loi, épée-Nord CHAUDIÈRE (Québec) RQ 171 (418) 707-1181 (418) 707-1182 Présentation-inspection Urgences et plumes 24h / 24 (418) 707-1181 Téléphone : 742-0323	ÉPÉE-NORD 700, rue de la Loi, épée-Nord ÉPÉE-NORD (Québec) RQ 171 (418) 707-1181 (418) 707-1182 Présentation-inspection Urgences et plumes 24h / 24 (418) 707-1181 Téléphone : 742-0323	ISLE-DE-MONTREAL 1, rue de la Loi, épée-Nord ISLE-DE-MONTREAL (Québec) RQ 171 (418) 707-1181 (418) 707-1182 Présentation-inspection Urgences et plumes 24h / 24 (418) 707-1181 Téléphone : 742-0323	LAVAL 20, rue de la Loi, épée-Nord LAVAL (Québec) RQ 171 (418) 707-1181 (418) 707-1182 Présentation-inspection Urgences et plumes 24h / 24 (418) 707-1181 Téléphone : 742-0323	QUÉBEC 20, rue de la Loi, épée-Nord QUÉBEC (Québec) RQ 171 (418) 707-1181 (418) 707-1182 Présentation-inspection Urgences et plumes 24h / 24 (418) 707-1181 Téléphone : 742-0323	VALLEY FIELD 1, rue de la Loi, épée-Nord VALLEY FIELD (Québec) RQ 171 (418) 707-1181 (418) 707-1182 Présentation-inspection Urgences et plumes 24h / 24 (418) 707-1181 Téléphone : 742-0323

À la suite d'une décision rendue en vertu de la Loi sur l'accès aux documents des organismes publics et sur la protection des renseignements personnels.

102

Révision

a) Pouvoir :

L'article 135 de la loi prévoit qu'une personne dont la demande écrite a été refusée en tout ou en partie par le responsable de l'accès aux documents ou de la protection des renseignements personnels peut demander à la Commission d'accès à l'information de réviser cette décision. La demande de révision doit être faite par écrit; elle peut exposer brièvement les raisons pour lesquelles la décision devrait être révisée (article 137).

L'adresse de la Commission d'accès à l'information est la suivante :

Québec

888, rue Saint-Jean
Bureau 420
Québec (Québec) G1R 5P1
N° de téléphone : (418) 529-7741
N° de télécopieur : (418) 529-3102

Montréal

2, Complexe Desjardins
Tour de l'Est, bureau 3210
C.P. 122, Succursale Desjardins
Montréal (Québec) H5B 1B2
N° de téléphone : (514) 282-6346
N° de télécopieur : (514) 844-6170

b) Motifs :

Les motifs relatifs à la révision peuvent porter sur la décision, sur le délai de traitement de la demande, sur le mode d'accès à un document ou à un renseignement, sur les frais exigibles ou sur l'application de l'article 9 (notes personnelles inscrites sur un document, esquisses, ébauches, brouillons, notes préparatoires ou autres documents de même nature qui ne sont pas considérés comme des documents d'un organisme public).

c) Délais :

Les demandes de révision doivent être adressées à la Commission d'accès à l'information dans les 30 jours suivant la date de la décision ou de l'expiration du délai accordé au responsable pour répondre à une demande (article 135). La loi prévoit spécifiquement que la Commission d'accès à l'information peut, pour motif raisonnable, relever le requérant du défaut de respecter le délai de 30 jours (article 135).

Appel devant la Cour du Québec

a) Pouvoir :

L'article 147 de la loi stipule qu'une personne directement intéressée peut porter la décision de la Commission d'accès à l'information en appel devant un juge de la Cour du Québec, sur toute question de droit ou de compétence. Cet appel ne peut toutefois être porté qu'avec la permission d'un juge de la Cour provinciale. Ce juge accorde la permission s'il est d'avis qu'il s'agit d'une question qui devrait être examinée en appel.

b) Délais et frais :

L'article 149 de la loi prévoit que la requête pour permission d'appeler doit être déposée au greffe de la Cour du Québec, à Montréal ou à Québec, dans les 30 jours de la décision, après avis aux parties et à la Commission d'accès à l'information. Les frais de cette demande sont à la discrétion du juge.

b) Procédure :

L'appel est formé, selon l'article 150 de la loi, par dépôt auprès de la Commission d'accès à l'information d'un avis à cet effet signifié aux parties, dans les 10 jours qui suivent la date de la décision qui l'autorise. Le dépôt de cet avis tient lieu de signification à la Commission d'accès à l'information.

ANNEXE 3

Extraits du rapport de température de la sonde thermique

ANNEXE 3

EXTRAITS DU RAPPORT DE TEMPÉRATURE DE LA SONDE THERMIQUE

Dans les tableaux qui suivent, les données de la sonde sont enregistrées à tous les dix minutes sont en degrés Fahrenheit et se retrouvent dans la quatrième colonne intitulé IN1. Durant les sept heures précédant l'incendie, les températures enregistrées se sont maintenues sous les 20 °C. Entre 01h10 et 01h20, la température passe de 20 °C à 95 °C puis monte à un enregistrement maximum de 119 °C à 01h30 pour redescendre à 25 °C et moins après 02h10. Notons que les méthodes d'intervention des pompiers expliquent la baisse de température après l'enregistrement maximum. Toutefois, comme le feu est à l'extérieur, celui-ci n'est pas nécessairement éteint à 02h10 ce qui explique bien l'écart de 5 °C entre avant 01h10 et après 02h10.

System:

Panel : 1 SubA #1 INDOOR / OUTDOOR

105

0°F

T L 1 --

	Date / Time	IN1	IN2	VAR8	OUT1
1	2 17:30	68.7	78.8	140.0	0.000
2	2 17:40	68.6	78.8	140.0	0.000
3	2 17:50	68.4	78.8	140.0	0.000
4	2 18:00	68.0	78.8	140.0	0.000
5	2 18:10	67.9	78.8	140.0	0.000
6	2 18:20	67.8	78.8	140.0	0.000
7	2 18:30	67.8	78.8	140.0	0.000
8	2 18:40	67.3	78.8	140.0	0.000
9	2 18:50	67.2	78.8	140.0	0.000
10	2 19:00	66.9	78.8	140.0	0.000
11	2 19:10	66.5	78.8	140.0	0.000
12	2 19:20	66.2	78.7	140.0	0.000
13	2 19:30	65.8	78.8	140.0	0.000
14	2 19:40	65.8	78.8	140.0	0.000
15	2 19:50	65.4	78.8	140.0	0.000
16	2 20:00	65.3	78.8	140.0	0.000
17	2 20:10	65.1	78.7	140.0	0.000
18	2 20:20	64.6	78.8	140.0	0.000
19	2 20:30	64.4	78.8	140.0	0.000
20	2 20:40	64.4	78.7	140.0	0.000
21	2 20:50	63.9	78.6	140.0	0.000
22	2 21:00	63.8	78.7	140.0	0.000
23	2 21:10	63.8	78.6	140.0	0.000
24	2 21:20	63.5	78.6	140.0	0.000
25	2 21:30	63.2	78.6	140.0	0.000
26	2 21:40	63.1	78.6	140.0	0.000
27	2 21:50	62.7	78.5	140.0	0.000
28	2 22:00	62.5	78.5	140.0	0.000
29	2 22:10	62.4	78.4	140.0	0.000
30	2 22:20	61.9	78.4	140.0	0.000
31	2 22:30	61.8	78.4	140.0	0.000
32	2 22:40	61.7	78.4	140.0	0.000
33	2 22:50	61.7	78.4	140.0	0.000
34	2 23:00	61.7	78.4	140.0	0.000
35	2 23:10	61.5	78.2	140.0	0.000
36	2 23:20	61.3	78.2	140.0	0.000
37	2 23:30	61.2	78.2	140.0	0.000
38	2 23:40	61.0	78.2	140.0	0.000
39	2 23:50	61.0	78.2	140.0	0.000
40	2 00:00	60.8	78.0	140.0	0.000
41	2 00:10	60.5	78.1	140.0	0.000
42	2 00:20	60.4	78.1	140.0	0.000
43	2 00:30	60.3	78.1	140.0	0.000
44	2 00:40	60.3	78.1	140.0	0.000
45	2 00:50	60.1	78.0	140.0	0.000
46	2 01:00	59.8	78.1	140.0	0.000
47	2 01:10	69.9	78.1	140.0	0.000
48	2 01:20	203.4	78.1	140.0	0.000
49	2 01:30	245.9	78.8	140.0	0.000
50	2 01:40	199.4	78.8	140.0	0.000
51	2 01:50	114.8	78.8	140.0	0.000
52	2 02:00	82.5	78.8	140.0	0.000
53	2 02:10	77.5	78.6	140.0	0.000
54	2 02:20	74.8	78.4	140.0	0.000
55	2 02:30	71.4	78.4	140.0	0.000
56	2 02:40	72.8	78.4	140.0	0.000

BIBLIOGRAPHIE

ACI (1989), American Concrete Institute, ACI 311 : *Recommended Practice for Concrete Inspection*, Detroit, Michigan.

AISC (1953), American Institute of Steel Construction, *Historical Record Dimensions and Properties, Rolled Shapes, Steel and Wrought Iron, Beams & Columns, as Rolled in U.S.A., Period 1873 to 1952 with Sources as Noted*, Compiled and Edited by Herbert W. Ferris, 142 p.

ASCE 11-90 (1990), American Society of Civil Engineers, *Guideline for Structural Condition Assessment of Existing Buildings*, ANSI approved august 1, 1991, New York, New York 10017-2398.

ASTM C805 (2002), *Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete*, American Society for Testing and Materials, 2002, USA

ASTM E84 (2001), *Standard Test Method for Surface Burning Characteristics of Building Materials*, American Society for Testing and Materials, 2001, USA.

ASTM E119 (2000), *Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials*, American Society for Testing and Materials, 2000, USA.

Bénichou, N. (2002), CNRC, présentation Regard sur la science du bâtiment 2002, *Résistance au feu des murs –facteurs à prendre en compte*, Institut de recherche en construction, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, Ontario.

Brannigan, F. L. (2001), *Building Construction for the Fire Service*, Third Edition, August 2001, Rockville, Maryland, U.S.A., 667 p.

CAN/ULC-S101 (1989), Laboratoires des assureurs du Canada, *Méthodes d'essai normalisées de résistance au feu des constructions et des matériaux*, norme ULC CAN4-S-101, Scarborough, Ontario, Canada

CAN/ULC-S102 (1988, R2000), Laboratoires des assureurs du Canada, *Surface Burning Characteristics of Building Materials and Assemblies*, norme CAN/ULC-S102, Scarborough, Ontario, Canada

CAN/CSA-A82.27 (1991), *Plaques de plâtre*, Association Canadienne de normalisation, Mississauga, Ontario

CCB (1985a), Conseil canadien du bois, *Commentaire sur le CNB 1985, Section 3.1.13*, Dossier CCB\$. Codes/réglementation, Ottawa, Ontario.

2003, Institut canadien d'information juridique, et L.R.Q., c. B-1.1, a. 4.1 et 182 par. 1^o) D. 954-2000, a. 1.

Loi s-3r.4 (2001), *Loi sur la sécurité dans les édifices publics*, L.R.Q., chapitre S-3, [En ligne]. <http://www.ijcan.org/qc/regl/rcqc/20030530/r.q.s-3r.4/tout.html>, (Consulté le 14 février 2003), Institut canadien d'information juridique.

Long, A., Murray, A.(1984), *The pull-off partially destructive test for concrete*, American Concrete Institute, ACI SP-82, 327-349, Detroit, Michigan.

Mehaffey, J.R. (1987), *Inflammabilité des matériaux de construction et développement du feu, et Combustibilité des matériaux de construction*, Compte rendu du Regard 87 sur la science du bâtiment, Institut de recherche en construction, Conseil national de recherches Canada, Ottawa, CNRC 28277F.

Ministère de la santé publique du Québec (1999), *La sécurité incendie au Québec, Quelques Chiffres*, [En ligne]. http://www.msp.gouv.qc.ca/stats/Incendie/1999/stat_incendie.pdf, (consulté le 22 février 2003), Direction de la sécurité incendie, Sainte-Foy, Québec.

NFPA (1997), *Fire Protection Handbook*, National Fire Protection Association, 1223p., éd. Par Arthur E. Cote, Jim L. Linville. - 18th ed, Quincy, Mass., USA.

NFPA (2003), National Fire Protection Association, *NFPA Overview*, [En ligne]. <http://www.nfpa.org>. (Consulté le 29 juin 2003).

NFPA 13 (2002), *Standard for the Installation of Sprinkler Systems*, National Fire Protection Association, An International Codes and Standards Organization, Quincy, Mass.USA.

NFPA 255 (2000), *Standard Method of Test of Surface Burning Characteristics of Building Materials*, National Fire Protection Association, An International Codes and Standards Organization, Quincy, Mass.USA

NFPA 921 (2001), *Guide for Fire and Explosion Investigations*, National Fire Protection Association, An International Codes and Standards Organization, Quincy, Mass.USA.

Nollet, M.J., (2000), *Réhabilitation des bâtiment MGC-830 Notes de cours*, École de technologies supérieures, Université du Québec, août 2000, Montréal, Québec.

OQLF, Office québécois de la langue française, *Le grand dictionnaire terminologique*[En ligne]. http://www.granddictionnaire.com/btml/fra/r_motclef/index1024_1.asp (Consulté le 20 mars 2002).

Pigeon M.(1999), *Propriétés du béton de ciment Portland*, Université Laval,1999, Québec, Québec.

Purkiss, J.A (1996), *Fire Safety Engineering Design of Structures*, Aston University, Aston Triangle, Birmingham, Royaume-Unis, 342p., 1996.

Pyrotech BEI inc., ----a, *Rapport d'expertise confidentiel*, ----, Laval, Québec.

Pyrotech BEI inc., ----b, *Rapport d'expertise confidentiel*, ----, Laval, Québec.

Pyrotech BEI inc., ----c, *Documents confidentiels*, ----, Laval, Québec.

Pyrotech BEI inc., ----d, *Rapport d'expertise confidentiel*, ----, Laval, Québec.

Pyrotech BEI inc., ----e, *Documents confidentiels*, ----, Laval, Québec.

Pyrotech BEI inc., ----f, *Rapport d'expertise confidentiel*, ----, Laval, Québec.

RBQ (2003), Régie du bâtiment du Québec, *Chapitre Bâtiment*, [En ligne].
http://www.rbq.gouv.qc.ca/code_construction/archive/index.htm (Consulté le 20 février 2003).

Règlement d'application de la Loi sur le bâtiment (2003), *Règlement d'application de la Loi sur le bâtiment*, [En ligne].
<http://www.canlii.org/qc/regl/rcqc/20030530/r.q.b-1.1r.0.01/tout.html> (Consulté le 27 juillet 2003).

Thor, J. (1973), *Deformations and Critical Loads of Steel Beams under Fire Exposure Conditions*, National Swedish Building Research, 123 p, 1973.

UL 723 (1989), *Test Method for Fire Hazard Classification of Building Materials*, Underwriters' Laboratories Inc, É.-U.

UL 1709 (1989), *Standard 1709 Rapid Rise Fire Essais of Protection Materials for Structural Steels*, Underwriters' Laboratories Inc, É.-U.

Wei S. (1998), *Fire Resistance of Floors Constructed with Fire-resistant Steels*, Journal of Structural Engineering, Vol.6, June 1998.

Lectures complémentaires :

Allen, D. E. and lie, Tiam T. (1977), *Fire Resistance Of Reinforced Concrete Columns and Walls*, Conseil national de recherche du Canada, 33 p.

Fire Protection (1994), *Fire Resistance of Plain Concrete-filled Steel Hollow Structural Section Columns*, Canadian Steel construction council, 4 p.

Fire Protection (1997), *Fire Resistance of Bar-Reinforced Concrete-Filled Steel HSS Columns*, Canadian Steel Construction Council, 4 p.

Lin, T.D., Burg, R.G. (1994), *Fire Test of Concrete Beams Reinforced with Epoxy-Coated Bars*, Portland Cement Association, RP321.01B, 12 p.

Malhotra, HL (1956). *The Effect of Temperature on the Compressive Strength of Concrete*, Magazine of Concrete Research.